



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY ŽLABU

PROPOSAL OF PRODUCTION TECHNOLOGY OF TROUGH

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Pavel Rérych

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Pavel Rérych**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Kamil Podaný, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh technologie výroby žlabu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby žlabu pro odvod povrchové vody z ocelového plechu. Součástka je prostorového tvaru a bude vyráběna technologií ohýbání. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle bakalářské práce:

- zhodnotit technologičnost žlabu,
- provést rozbor možných technologií výroby a zvolit optimální dle strojního vybavení firmy,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii,
- zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- navrhnout a popsat tvářecí nástroj včetně základní výkresové dokumentace,
- provést technicko–ekonomické hodnocení.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

HOSFORD, William F. a Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

HELLWIG, Waldemar a Erwin SEMLINGER. Spanlose Fertigung: Stanzen. 5th ed. Braunschweig Wiesbaden: Friedr Vieweg Verlagsgesellschaft mbH, 1994. 289 p. ISBN 3-528-44042-2.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

RÉRYCH Pavel: Návrh technologie výroby žlabu.

Práce, předkládá návrh technologie výroby krabicového žlabu. Žlab je vyráběn společností ACO Industries k.s. z korozivzdorné austenitické oceli 17 240 o tloušťce 1,5 mm. Na základě zadávající dokumentace byla pro zhotovení vybrána jako nejvhodnější technologie ohraňování, na kterou byla vypracována literární studie. Z technologických výpočtů a dostupného strojního vybavení byl navrhnut technologický postup výroby součástí na lisu TruBend 5130, se jmenovitou silou 1 300 kN. Tvářecí nástroje jsou vyrobeny z nástrojové Cr – Mo oceli. Práce obsahuje také technicko-ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova: Ocel 17 240, ohraňování, krabicový žlab, ohraňovací lis, tvářecí nástroje

ABSTRACT

RÉRYCH Pavel: Proposal of production technology trough.

Elaborated thesis presents a proposal of technology for the production of modular channel. The modular is manufactured by ACO Industries k.s. from stainless steel 17 240, thickness 1.5 mm. Literary studie is focused on Bending as the most favorable technology with respect to tender documentation. Based on technological calculations and available machinery TruBend 5130 press with nominal force 1 300kN was selected for part manufacturing process. Forming tools are made from Cr - Mo tool steel. The thesis also includes technical and economic evaluations.

Keywords: 17 240 stainless steel, bending, modular, bending press, forming tools

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RÉRYCH Pavel. *Návrh technologie výroby žlabu*. Brno, 2017. 37 s, 1 výkresů, 6 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce: Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V dne 26.5. 2017

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamil Podaný, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování této bakalářské práce, dále bych chtěl poděkovat společnosti ACO Industries k.s. za poskytnutí informací a prostředků pro vypracování práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Str.

ÚVOD	9
1 ROZBOR SOUČÁSTI.....	10
1.1 Varianty výroby	11
2 TECHNOLOGIE OHRAŇOVÁNÍ	13
2.1 Technologické parametry	13
2.1.1 Stanovení rozvinuté délky.....	14
2.1.2 Maximální a minimální poloměr ohybu.....	16
2.1.3 Odpružení	17
2.2 Práce a síla	17
2.3 Ohraňovací nástroje	19
2.3.1 Upínání nástrojů.....	20
2.4 Ohraňovací stroje	20
2.5 Technologičnost.....	22
3 NÁVRH VÝROBY	23
3.1 Postup ohraňování	23
3.2 Volba nástrojů.....	24
3.3 Maximální a minimální výška žlabu	25
3.4 Stanovení rozvinuté délky	27
3.5 Postup ohýbání.....	28
3.6 Výpočet parametrů pro ohýbání	32
3.7 Volba ohraňovacího stroje	33
4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	34
4.1 Ekonomické zhodnocení	34
5 ZÁVĚRY	37

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

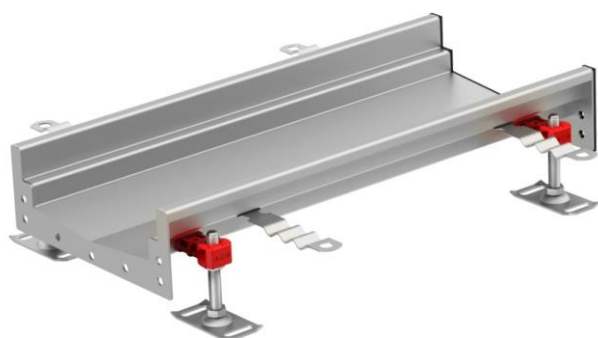
Seznam výkresů

ÚVOD [1], [5], [7], [21], [25], [26]

Hlavním požadavkem dnešního strojírenství je vyrobit součásti z co nejkvalitnějšího materiálu a zároveň s nejmenšími možnými náklady na výrobu. Pro velkosériovou výrobu se velmi často uplatňuje technologie tváření. Prim zde hraje právě velká úspora materiálu. V porovnání s obráběcími metodami je zde úspora až okolo 80 %.

Tváření je zpravidla rozdělováno na objemové a plošné. U prvního zmíněného, tedy objemového, dochází k přetvoření celého průřezu materiálu, zatímco u druhého – plošného, dochází pouze k rovinnému přetvoření (nemění se tloušťka). Právě plošné tváření je nejčastější metodou ve strojírenství. Díky němu mohou být zhotoveny výrobky různých tvarů a rozměrů efektivně s velmi vysokou přesností a kvalitou. Zhotovují se pomocí vnějšího působení sil bez porušení materiálu, výjimku tvoří pouze technologie stříhání, kdy dochází k porušení.

Na obrázku č. 1 jsou uvedeny součástky vyrobené plošným tvářením, především technologií ohraňování.

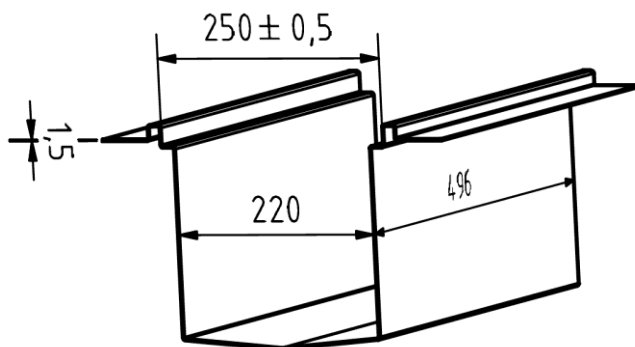


Obr. 1 Příklady součástí vyrobených technologií ohraňování [1], [5], [7], [21].

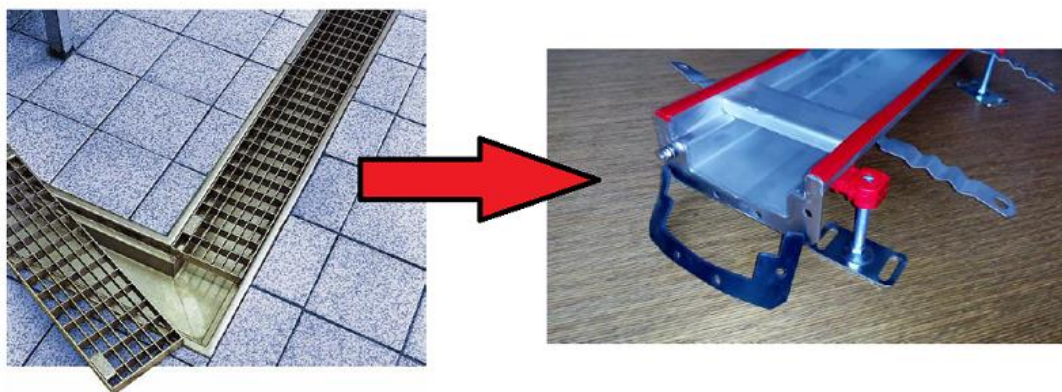
1 ROZBOR SOUČÁSTI [1], [2], [3], [9], [12], [14], [16], [20], [27]

Řešenou součástí této bakalářské práce je krabicový žlab (obr. 2), který je jednou z částí v liniovém odvodňovacím systému (obr. 3). Je využíván zejména v potravinářském a farmaceutickém průmyslu, kde je kladen velký důraz na čistotu okolního prostředí. Systém se ve většině případů vyrábí podle požadavků zákazníka.

Celek se skládá z řešeného krabicového žlabu, stavitelných noh a odtokového dílu. Poslední díl je zpravidla rošt, který se umísťuje na vrchní část. Pro umožnění spojovat žlaby k sobě v celém odvodňovacím systému je nutné na oba konce přivařit přírubu. Následně jsou žlaby spojené pomocí šroubů přes příruby, mezi které se vloží pryžové těsnění a tím se zajistí těsnost celého systému.



Obr. 2 Základní rozměry součástky [14].



Obr. 3 Rozbor liniového odvodňovacího systému [14], [16].

Řešená součástka bude vyráběna technologií plošného tváření. Z tabule plechu o tloušťce 1,5 mm se na laseru vypálí požadovaný rozvin součástky. Na součásti nejsou žádné předepsané geometrické tolerance, pouze na šířce pro vložení roštu je tolerance $\pm 0,5$ mm. Základní rozměry jsou vidět na náčrtu součásti (obr. 2). Chybí zde pouze výška žlabu, kterou lze měnit dle potřeb zákazníka.

Samotný krabicový žlab je vyráběn v přibyslavském závodě ACO Industries k.s. Tato společnost byla založena v roce 1946 v Německu a její minulost i současnost je spjata s rodinou Ahlmannů. Společnost se specializuje na odvodňovací techniku, ve které se stala světovým lídrem. Má celkem 29 výrobních závodů na čtyřech kontinentech. Hlavní závod v České republice se nachází v Přibyslavi. Zde se z velké části sestavují kompletní odvodňovací systémy a následně zde probíhá i celý výrobní proces. Zákazník si zde může nechat vyrobit vnitřní i venkovní odvodňovací systémy z nerezové a černé oceli, i z polymerbetonu. ACO Group zaměstnává celkově přes 4 200 lidí a z toho přibližně 700 je zaměstnanců přibyslavské pobočky.

Při volbě materiálu je zapotřebí zohlednit, zda žlab bude sloužit k odtoku vody nebo dalších různých kapalin, kde by mohla např. černá ocel bez povrchové úpravy časem způsobit nežádoucí korozi. Dále je nutné, aby materiál měl vhodnou svařitelnost a tvařitelnost.

Po zohlednění všech výše uvedených podmínek byl za nejlepší materiál vybrán korozivzdorný austenitický plech oceli 17 240 (dle DIN 1.4301, AISI 304), který je již dodáván v žíhaném stavu.

Tento materiál zaručuje správnou svařitelnost a tvařitelnost, má dobrou odolnost proti korozi i proti kyselinám o nízké koncentraci při normálních teplotách. Jeho hlavní uplatnění lze nalézt v potravinářském a farmaceutickém průmyslu, kde je nutné vždy udržovat čisté prostředí. V bytové architektuře se používá z důvodu dobré schopnosti rozleštění. Základní mechanické vlastnosti a chemické složení je uvedeno v tab. č. 1. Veškeré informace jsou převzaty z atestu pro daný materiál. Kompletní atest a materiálový list dané oceli 17 240 je uveden v přílohách č. 1 a 2.

Tab. 1 Vlastnosti korozivzdorné austenitické oceli 17240 [3].

Mechanické vlastnosti	Žíháno [°C]		R _{p0,2} [MPa]		R _m [MPa]		A ₈₀ [%]	
	1040 - 1100		295		640		51	
Chemické složení	Prvek	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
	hm [%]	0,02	1,44	0,48	18,12	8,00	0,03	0,003

1.1 Varianty výroby [5], [6], [12], [15], [19], [22], [24]

Než bude řešená součást vyráběná, je nutné nejdříve zvolit technologii výroby a poté vybrat tu, která je nejvýhodnější a splňuje požadavky výroby. Je zapotřebí zohlednit velikost série a strojní vybavení firmy. Pro danou výrobu přicházejí v úvahu tyto technologie:

- Ohýbání na ohýbačce (obr. 4) - je založeno na principu přesného ustavení výchozího polotovaru mezi čelistmi nástroje a zajištění pomocí ruční páky nebo ovládacího motoru. Následně je polotovar ohýbán do požadovaného úhlu. Poté je uvolněn a vyjmut, nebo následuje další ohyb. Nevýhodou této technologie je časová náročnost nastavování ohybu na požadovaný úhel. Tyto stroje jsou využívány na kusovou výrobu, při sériové výrobě by se nedala zaručit požadovaná přesnost rozměrů.
- Ohýbání v nástroji (obr. 5) – součástka je tvarována nástroji ohýbadla, které může být umístěno jak v mechanickém, tak i hydraulickém lise. Pevná spodní část ohýbadla je nazývána ohybnice. Je upevněna na základové desce. Ohybník koná přímočarý vratný pohyb. Je připevněn do upínací desky. Výchozí polotovar se ustaví na ohybnici pomocí dorazů. Následně samotný ohybník působí silou kolmo na materiál a polotovar je tak vtlačován do ohybnice až do požadovaného tvaru. Tuto technologii se doporučuje využívat pro ohyby s konstantními parametry. Výhodou je, že ohyby lze provádět i u větších výrobních sérií a lze provádět i na rozměrově menších dílech. Nevýhoda naopak spočívá v časově náročné montáži a nastavení stroje.



Obr. 4 Ruční ohýbací stroj [22].



Obr. 5 Schéma ohýbadla [19].

- Ohraňování (obr.6) – princip je skoro stejný jako při klasickém ohýbání. Ovšem zde se ohyby tváří pomocí vyměnitelných nástrojů. Jedním z nich je ohybník, který vykonává svislý pohyb směrem dolů, kolmo proti materiálu a vtlačuje ho do dutiny matrice. Takto vznikne požadovaný úhel ohybu. Ohybník a matrice jsou ve většině případů univerzální a lze je využít na různé úhly ohybů a odlišné materiály. Jejich výměna je přitom velmi rychlá a přesná. Pomocí této technologie, lze vyrobit různé tvary součástky. Polotovár bývá většinou tenkostěnný plech, ovšem existují i výjimky s tloušťkou i do 20 mm. K technologii je zapotřebí využívat CNC programovatelné stroje, které jsou nazývány „ohraňovací lisy“.

Hlavním úkolem těchto programovatelných strojů je možnost korekce úhlu odpružením a přesná výška zdvihu pro dosažení požadovaného úhlu ohybu. Zařízení disponuje možností řízených dorazů při ohybu. Právě dorazy zaručují přesnou opakovatelnost výroby s rychlou změnou polohy pro následující ohyb. Pořizovací náklady na tento stroj jsou vysoké, ale cena je vykompenzována univerzálním použitím na různé ohyby v menších sériích, dále rychlostí a přesností provedených ohybů.



Obr. 6 Ohraňování [5].

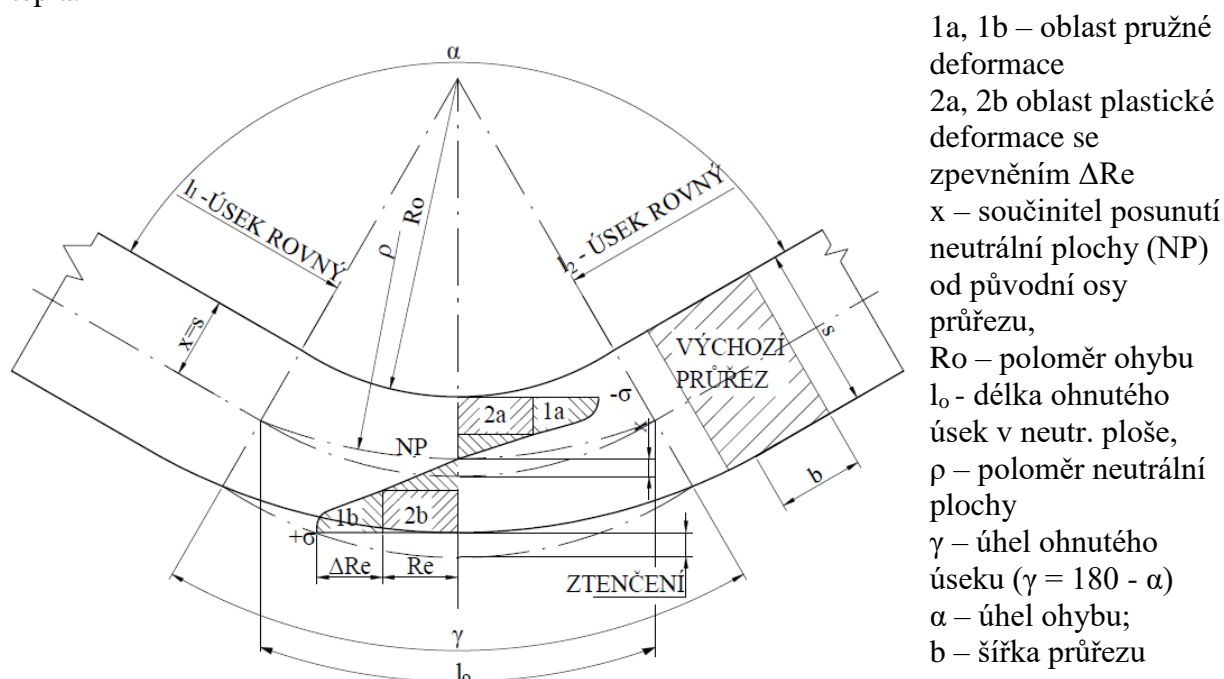
Z výše uvedených možností výroby dané součástky se jeví jako nejvýhodnější ohraňování, hlavně z důvodu, že společnost vlastní několik CNC ohraňovacích lisů. Zadanou součást je samozřejmě možné vyrobit na hydraulickém lisu s pomocí nástroje, ale pouze s pevnou výškou žlabu, nebo i na ohýbačce. Oba tyto stroje společnost také vlastní. Ovšem z důvodů měnitelné výšky žlabu, která není možná při výrobě v nástroji a také z důvodu malé rychlosti a přesnosti na ručním ohýbacím stroji, bude použit na výrobu daného krabicového žlabu jednoznačně CNC ohraňovací lis. Právě tato technologie by měla zaručit nejméně nákladnou výrobu požadované součástky. Na technologii ohraňování budou vypracovány další části této práce – teoretická i praktická.

2 TECHNOLOGIE OHRAŇOVÁNÍ [12], [13], [18], [24], [27], [29]

Technologie ohraňování je založena na stejných zásadách jako běžné ohýbání. Je zde i stejná problematika. V místě ohybu vznikne oblast ovlivněná plastickou deformací, která je doprovázena elastickou a ta s sebou nese negativní účinky v podobě odpružení. Následně je nutné řešit problematiku se správným stanovením rozvinuté délky polotovaru, maximálním a minimálním poloměrem ohybu, posunutím neutrální osy a dalšími podstatnými činiteli procesu.

Velkou výhodou ohraňování je možnost ohybů velkorozměrných dílů. Tyto díly se ohýbají pomocí nástroje, který se skládá ze dvou vyměnitelných lišt, kde spodní je pevná (tzv. matrice) a horní pohyblivá ve svislém směru (tzv. ohybník).

Ohraňování většinou využívá více ohybných operací pro dosažení požadovaného tvaru součástky. Výchozím materiálem je nejčastěji plech. Většina materiálu je ohýbána za studena. Pouze je-li materiál křehký, tvrdý, či jeho průřez klade velký odpor, je používáno ohýbání za tepla.



Obr. 7 Schéma ohýbání [12]

Na vnější straně materiálu, díky ohýbání, vzniká tahové napětí, které způsobuje prodlužování materiálu v podélném směru, a naopak v příčném směru způsobuje zužování. Naopak na vnitřní straně ohybu vzniká tlakové napětí, které materiál rozšiřuje v příčném směru. Na obr. č. 8 je vidět schéma napětí při ohýbání. Je zde vidět, že v prostřední vrstvě se tangenciální napětí rovná nule. Tato vrstva se nazývá neutrální plochou a jako jediná se v průřezu ohybu nezkracuje ani nenatahuje. Před ohýbáním se tato plocha nachází ve středu průřezu, po ohnutí se ovšem posouvá směrem k vnitřní straně poloměru ohybu. Právě neutrální plocha je velmi důležitým faktorem při správném výpočtu rozvinu polotovaru.

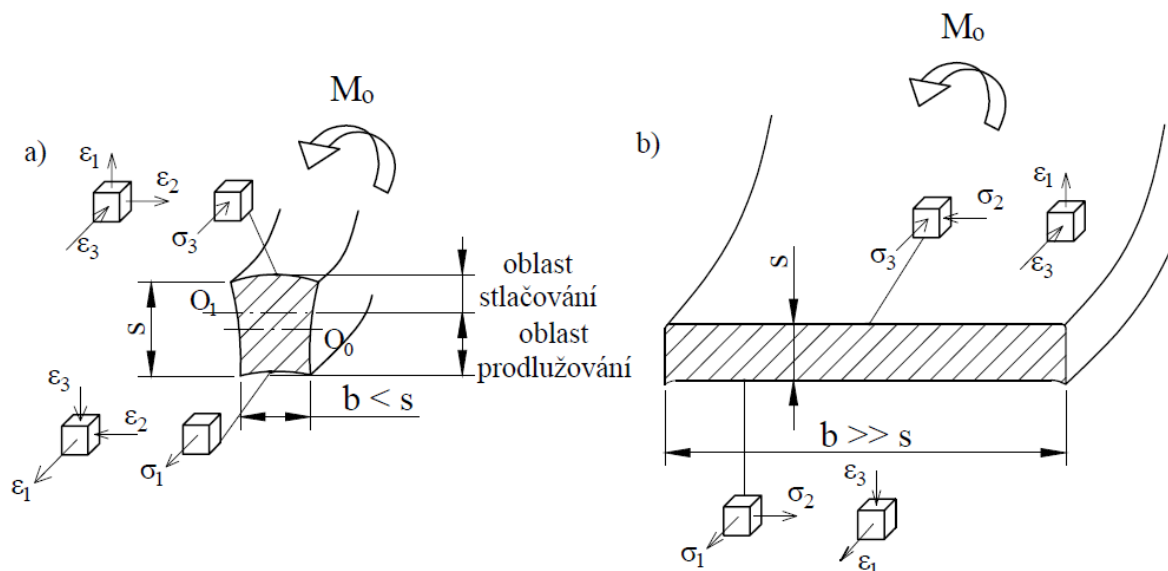
2.1 Technologické parametry [10], [12], [24], [27]

Pro dosažení trvalého ohybu, je nutné překročit napětí meze kluzu (R_e), ale zároveň nepřekročit napětí meze pevnosti (R_m), při kterém by došlo k porušení celistvosti materiálu. Při posuzování technologických parametrů závisí na tvaru a rozměrech výchozího polotovaru. Jelikož stav deformace neprobíhá nikdy stejně.

Při ohýbání úzkých tyčí (obr. 8a), u kterých je šířka menší než její tloušťka, se napětí ve směru šířky rovná přibližně nule ($\sigma_2=0$). Dochází zde tak k jednoosé tlakové i ohybové

napjatosti v krajních vláknech, která jsou důsledkem dvojsového stavu deformace (ϵ). Tato deformace způsobuje na vnitřní straně to, že se průřez tyče zvětšuje a na vnější se naopak zúžuje.

U širokých pásů plechu (obr. 8b), kde jejich tloušťka je mnohonásobně menší než šířka, nedochází k deformaci v příčném směru ($\epsilon_2=0$). Poměrné stavy deformace ve stejném směru jsou stejně velké pouze opačně orientované, proto zde dochází k rovinému stavu deformace.



Obr. 8 Schéma deformace průřezu [12].

2.1.1 Stanovení rozvinuté délky [8], [12], [15], [24], [27]

Pro určení přesného rozměru výchozího polotovaru je důležité znát přesné působíště neutrální osy. Pokud ohyb má velký poloměr, v materiálu vznikají malé plastické a velké pružné deformace. Z toho lze usoudit, že neutrální osa se neposune a zůstane ve středu tloušťky průřezu materiálu.

U ohybů s malým poloměrem ohybu, je nutné počítat s deformací průřezu. Tyto deformace způsobují ztenčení a rozšíření průřezu materiálu. Ve výpočtech se počítá s těmito deformacemi pomocí součinitelů. Velikost posunutí neutrální osy je závislá na velikosti poloměru ohybu a vychází ze vzorců:

- velké poloměry ohybu, kdy $\frac{R_o}{s} \geq 12$:

$$\rho = R_o + \frac{s}{2} \text{ [mm]} \quad (2.1)$$

- malé poloměry ohybu, kdy $\frac{R_o}{s} \leq 6$:

$$\rho = \left(R_o + \frac{s}{2} \right) \cdot z_z \cdot z_r \text{ [mm]} \quad (2.2)$$

kde: $z_z = s_1/s$ – součinitel ztenčení průřezu [-]

$z_r = b_1/b$ součinitel rozšíření průřezu [-]

s, b – tloušťka a šířka výchozího průřezu [mm]

s_1, b_1 – tloušťka a šířka ohnutého průřezu [mm]

R_o – poloměr ohybu [mm]

Hodnoty součinitele ztenčení jsou závislé na mnoha faktorech a určují se z grafické závislosti nebo pomocí tabulky 3. Hodnotu součinitele rozšíření v závislosti tloušťky na šířce, lze určit z tabulky 2.

Tab. 2 Součinitel rozšíření výchozího průřezu [15].

Šířka b [mm]	$b = 0,5 \cdot s$	$b = s$	$b = 1,5 \cdot s$	$b = 2 \cdot s$	$b = 2,5 \cdot s$	$b = 3 \cdot s$
Součinitel rozšíření z_r [-]	1,09	1,05	1,025	1,01	1,005	1,0

Tab. 3 Hodnoty součinitelů „x“ a „z_z“ v závislosti na poměru Ro/s [15].

Ro/s [-]	0,10	0,25	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	8,00	10,00
x [-]	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,486
z _z [-]	0,82	0,87	0,92	0,96	0,985	0,992	0,995	0,996	0,996	0,997	0,998

Pokud jsou ohýbané široké pásy plechu, kde platí že $b \geq 3 \cdot s$, je poloměr neutrální osy určován pomocí součinitele „x“. Součinitel „x“ udává přesné posunutí neutrální osy od polohy před ohybem. Poloměr neutrální osy lze v tomto případě vypočítat následujícím vztahem:

$$\rho = R_o + s \cdot x \text{ [mm]} \quad (2.3)$$

Hodnoty součinitele „x“ lze správně určit dle tabulky 3, když je známý požadovaný poměr poloměru ohybu (R_o) a tloušťky materiálu (s). Poloměr neutrální osy je důležitý pro přesné zjištění délky ohnutých součástí. Rozměr výchozí délky polotovaru se určí za pomoci poloměru neutrální osy nebo součtu jednotlivých rovinných a ohnutých částí součástí, tento princip lze vidět na obrázku 9. Délku ohnuté části lze zjistit pomocí vztahu:

$$l_o = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho \text{ [mm]} \quad (2.4)$$

kde: ρ – poloměr neutrální plochy
 γ – úhel ohnutého úseku ($\gamma = 180 - \alpha$)

Při ohybu o 180° , kde dojde ke styku ohýbaných ploch, se přesná délka ohnuté části zjistí následujícím vztahem:

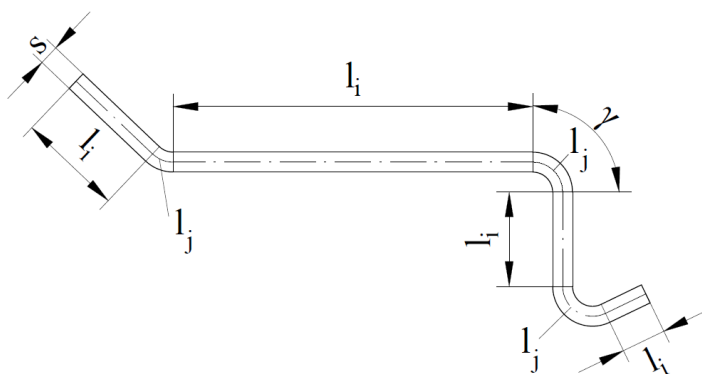
$$l_o = 0,5 \cdot \pi \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.5)$$

Poté je výchozí délka součástí zjištěna součtem rovinných a ohnutých úseků následovně:

$$L_c = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{j=1}^n l_j \text{ [mm]} \quad (2.6)$$

kde: $\sum_{i=1}^n l_i$ - součet délek rovinných úseku [mm]

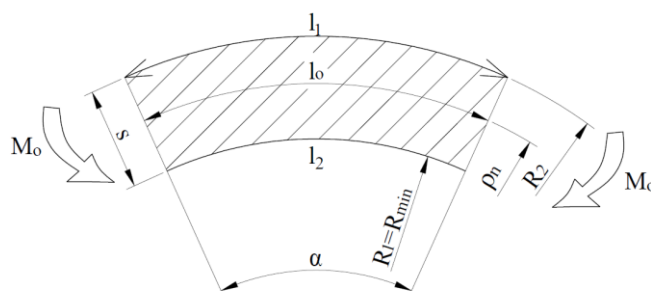
$\sum_{j=1}^n l_j$ - součet délek ohnutých úseku [mm]



Obr. 9 Stanovení délky výchozího polotovaru [8]

2.1.2 Maximální a minimální poloměr ohybu [12], [15], [24]

U ohýbání, na co nejmenší poloměr, jsou hlavními ovlivňujícími faktory tvárnost, anizotropie, rozměr materiálu a způsob ohybu. Minimální poloměr je maximální možná hodnota, při které se nepřekročí mez pevnosti materiálu a nedojde k porušení celistvosti materiálu na vnější tahové straně. Porušení celistvosti nastává u materiálů, které mají malou plasticitu. Proto je vhodné před ohýbáním nejprve žíhání, které zlepší tvárnost.



Obr. 10 Deformační schéma ohybu [12]

Při určení minimálního poloměru je nezbytné nejdříve určit maximální poměrné přetvoření „ $\epsilon_{1\max}$ “, které lze spočítat:

$$\epsilon_{1\max} = \frac{l_2 - l_1}{l_1} = \frac{R_2 \cdot \alpha - \rho_n \cdot \alpha}{\rho_n \cdot \alpha} = \frac{(R_1 + s) \cdot \alpha - (R_1 + \frac{s}{2}) \cdot \alpha}{(R_1 + \frac{s}{2}) \cdot \alpha} = \frac{s}{2 \cdot R_1 + s} [-] \quad (2.7)$$

kde: l_1 - délka krajního stlačeného vlákna [mm]

l_2 - délka krajního prodlouženého vlákna [mm]

R_1 - poloměr ohybu krajního stlačeného vlákna [mm]

R_2 - poloměr ohybu krajního prodlouženého vlákna [mm]

ρ_n - poloměr neutrální vrstvy [mm]

Vztah pro výpočet hodnoty „ R_{\min} “ lze získat vyjádřením z rovnice (2.7):

$$R_{1\min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\epsilon_{1\max}} - 1 \right) = c_1 \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.8)$$

kde: c_1 - materiálový součinitel

Hodnoty materiálového součinitele „ c_1 “ pro různé materiály lze vidět v tabulce 4. Tyto hodnoty jsou určeny pro příčný a podélný směr vláken a platí pouze pro materiály, na jehož povrchu se nenacházejí žádné rýhy a trhliny.

Tab. 4 Součinitel „ c_1 “ pro různé materiály. [15]

Materiál	Měkká ocel	Měkká mosaz	Hliník	Dural	Měkká měď
Součinitel c_1	0,5 až 0,6	0,3 až 0,4	0,35	3 až 6	0,25

Při ohýbání na maximální poloměr ohybu je nutné překročit v krajních vláknech mezní hodnoty, které způsobí v materiálu plastické deformace. Pokud se těchto hodnot nedosáhne, materiál by se po ohybu vrátil do původního stavu.

Pro určení maximálního poloměru ohybu je nutné znát minimálního poměrného přetvoření „ $\epsilon_{1\min}$ “, které způsobí trvalou deformaci v materiálu. Tuto hodnotu lze zjistit pomocí následující rovnice:

$$\epsilon_{1\min} = \frac{s}{2 \cdot R_{1\max} + s} = \frac{Re}{E} [-] \quad (2.9)$$

kde: Re - mez kluzu [MPa]

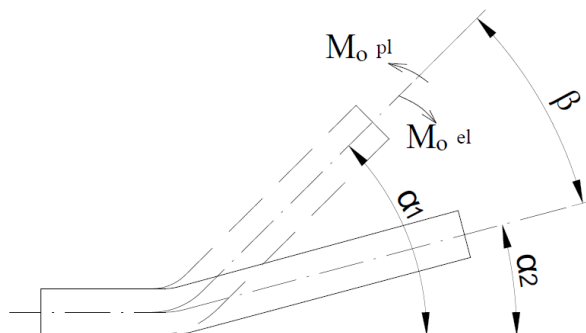
E - modul pružnosti [MPa]

Úpravou rovnice (2.9) lze získat vztah pro výpočet maximálního poloměru ohybu, který je následovný:

$$R_{\text{imax}} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{Re} - 1 \right) \text{ [mm]} \quad (2.10)$$

2.1.3 Odpružení [12], [15], [24], [27]

S odpružením je nutné dopředu počítat při každé ohybové operaci. Při ohybu nastává deformace, která se skládá z plastické a elastické složky, která způsobuje odpružení a po odlehčení na tvářeném materiálu má negativní dopad na výsledný tvar ohybu, respektive na výsledný úhel, který bude o hodnotu odpružení větší. (obr. 11) Velikost odpružení závisí na tloušťce materiálu, mechanických vlastnostech, poloměru ohybu a tvaru.



Obr. 11 Schéma odpružení pro ohyb [12].

Velikost odpružení při ohybu do tvaru písmene „V“ (obr. 12), lze vypočítat následovně:

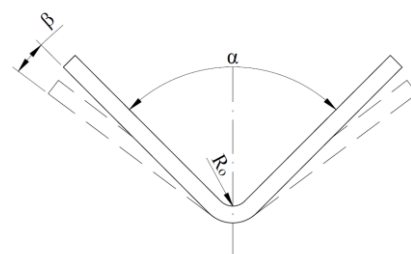
$$\text{tg} \beta = 0,375 \cdot \frac{w}{k \cdot s} \cdot \frac{Re}{E} \text{ [-]} \quad (2.11)$$

kde: β - úhel odpružení [°]

k – součinitel určující polohu neutrální osy ($k=1-x$) [-]

w – vzdálenost rozevření matrice [mm]

Při ohraňování je možné velikost odpružení eliminovat. Na některých ohraňovacích lisech se nacházejí laserové snímače, které po odlehčení změří úhel ohybu. Následně sami vytvoří korekci ohybu, kde dopočítají, o kolik je nutné změnit velikost. Pokud stroje nejsou vybaveny laserovými snímači, vykonává tuto činnost obsluha stroje, kdy pomocí úhlooměru změří úhel a v CNC programu stroje vytvoří korekci.



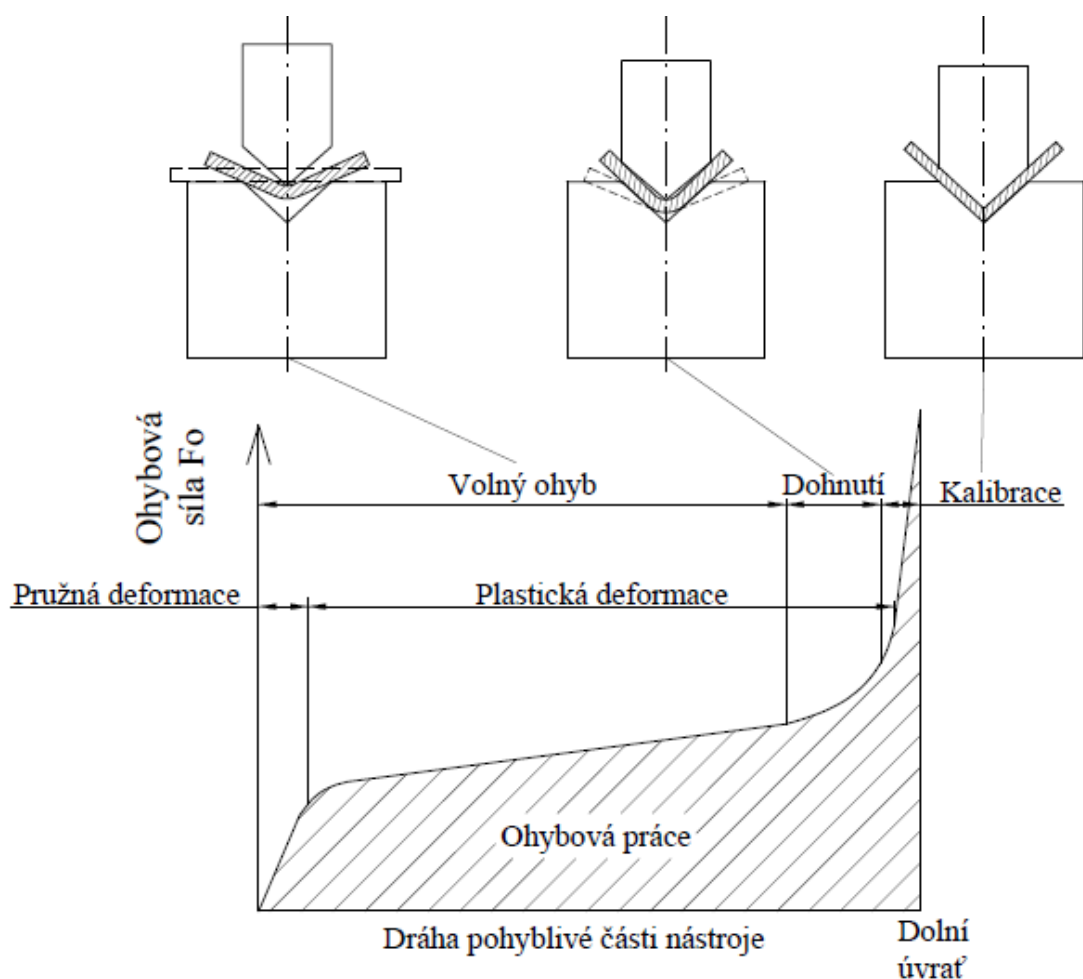
Obr. 12 Ohyb tvaru „V“ [12].

2.2 Síla a práce [12], [15], [24], [27]

Při ohýbání vzniká síla. Její velikost závisí na mechanických vlastnostech materiálu a na tvaru ohybu. Existují dva základní tvary ohybu – podle písmen „U“ a „V“. Pro každé z písmen se síla počítá odlišným způsobem. Velikost je důležitá pro správnou volbu stroje. Vzhledem k řešené problematice ohraňování se bude dále řešit výpočet síly do tvaru „V“.

Průběh ohybové síly do tvaru „V“ je znázorněn na obrázku 13. Z pohledu na průběh síly je patrné, že síla není v celém procesu stejná. Průběh se rozděluje na 3 fáze ohybu. V první oblasti nastává lineární nárůst síly v závislosti na dráze nástroje, který se vyjadřuje pomocí Hookova zákona. V celé této oblasti jsou pouze pružné deformace. Při přechodu do druhé oblasti je překročena mez kluzu materiálu a pružné deformace se mění na plastické. Důsledkem toho vznikají trvalé plastické deformace v ohýbaném materiálu. V závěrečné fázi dochází ke kalibrování ohybu. Kalibrace je prováděna pro zpřesnění úhlu a poloměru ohybu. Pro tento účel se nejčastěji používají mnohonásobně větší síly než v předešlých fázích.

Potřebná práce pro ohyb je rovna ploše pod křivkou síly (obr. 13).



Obr. 13 Průběh ohybové síly [12].

Pro výpočet velikosti ohybové síly a práce, při ohybu do tvaru „V“ se používají následující uvedené vzorce, platné dle normy ČSN 22 7340.

$$F_{ov} = \frac{b \cdot s^2 \cdot Re}{2 \cdot \rho} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad [\text{N}] \quad (2.12)$$

$$A_{ov} = m_v \cdot F_{ov} \cdot h_r \quad [\text{J}] \quad (2.13)$$

kde: m_v – koef. zaplnění pracovního diagramu pro ohyb „V“ ($m_v = 1/3$) [-]

h_r – dráha razníku [mm]

α - úhel ohybu [°]

U technologie ohraňování se plech považuje za nosník, který se matrice dotýká dvěma body o vzdálenosti „w“ a uprostřed je zatížen ohybovou silou „F_o“. Při ohybu se polotovar tře o funkční plochy matrice, a proto je nutné navýšit ohybovou sílu o 1/3 F_o.

Výsledná tvářecí síla se vypočte dle vzorce:

$$F_{oh} = \frac{s^2 \cdot 2 \cdot Rm}{1,4 \cdot w} \quad [\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (2.14)$$

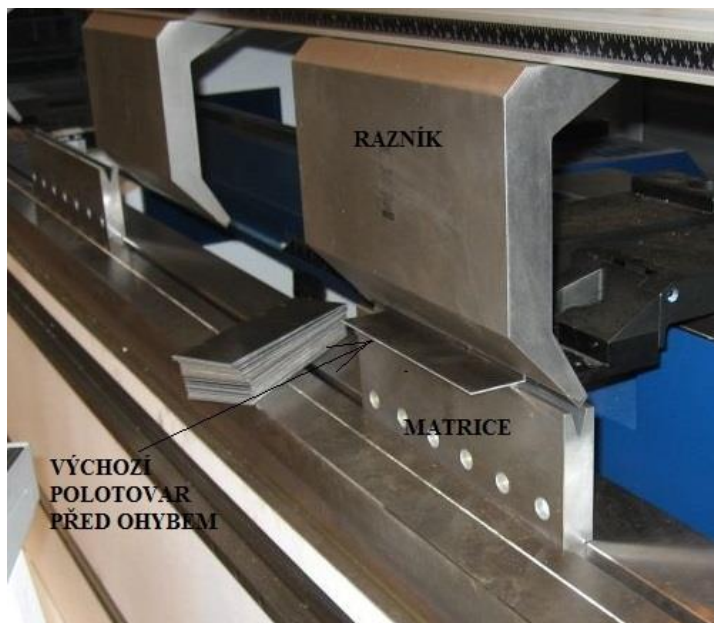
Tento výpočet je používán pro rychlé zjištění tvářecí síly v praxi, ale platí pouze pro ohyb do tvaru „V“. Pokud je prováděná kalibrace ohybu výsledná, tvářecí síla se šestkrát až dvanáctkrát zvětší. Výsledná síla se uvádí v kN vztažených na jeden metr ohybu, tj. kN/m.

2.3 Ohraňovací nástroje [5], [12], [15], [17], [29]

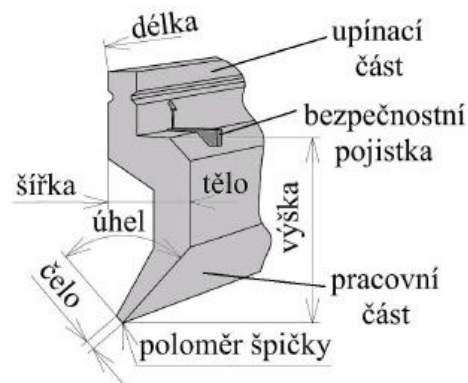
Nástroj pro ohraňování tvoří dvě hlavní části. První pevná část nazývaná matrice se nachází ve spodní vyměnitelné liště. Druhá část nástroje se nachází v horní vyměnitelné liště a je nazývaná razník. Při ohraňování razník pomocí beranu sjíždí svisle dolů proti matrici, kde narazí na materiál, který následně vtlačí do dutiny matrice a vznikne ohyb. Tímto způsobem lze vytvořit mnoho různých tvarů ohybu. Záleží pouze na použitém typu razníku a tvaru dutiny v matrici. Hlavními parametry pro vytvoření požadovaného tvaru ohybu u razníku je tvar těla, velikost úhlu a poloměr špičky razníku. U matrice jsou důležitými parametry její šířka, velikost úhlu v dutině a poloměry na zaoblení matrice.

Důležitými parametry jsou rozměry matrice a razníku pro předejití kolize nástroje s materiálem, která vznikne především na součásti s více ohyby. Na takové součásti je nutné kontrolovat maximální rozměry při každém ohybu. K této kontrole mohou sloužit diagramy, které jsou dodávány ke každému razníku. Pomocí diagramu se snadno zjistí, zda dojde ke kolizi či nikoliv.

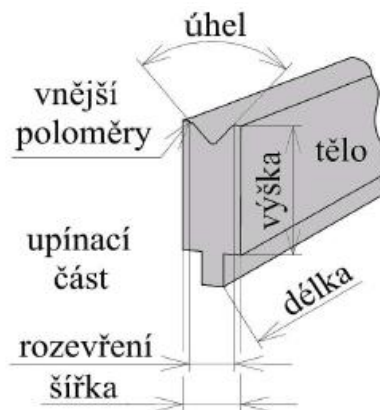
- Razníky – se vyrábí ve velkém množství tvarů a rozměrů a lze s nimi vyrobit různé tvary ohybů. Razník se skládá z několika hlavních částí, kterými jsou upínací část, bezpečnostní pojistka, tělo a pracovní část (obr. 15). Pracovní úsek razníku je dán jeho velikostí úhlu a poloměrem špičky. Tato oblast je také tepelně zpracována pro lepší trvanlivost a tvrdost. Každý razník má pevně stanovenou svoji délku a šířku. Nejčastěji používané razníky jsou rovné nebo dvojnásobně lomené.
- Matrice - nejčastěji vyráběná je s vnitřní dutinou do písmene „V“ ale pro složitější ohyby se vyrábí v různých tvarech pro možnost plnění požadavků zákazníka. Na obrázku 16 - lze vidět matrici s jednou dutinou, která je nejčastější. Vyráběny jsou i se čtyřdutinové, pro obsáhlejší tvary ohybů. Upínací část slouží pro snadnou výměnu. Tělo matrice se skládá z pracovní části obsahující vnitřní dutinu, která je charakterizována vnitřní velikostí úhlu, vnějších poloměrů zaoblení a vzdáleností těchto poloměrů. Tato část je tepelně zpracována.



Obr. 14 Ohraňovací nástroje. [5]



Obr. 15 Razník [15]



Obr. 16 Matrice [15]

2.3.1 Upínání nástrojů [23], [24], [29], [30]

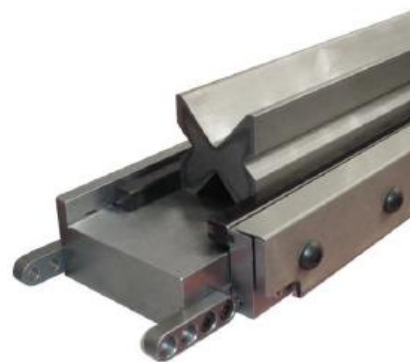
Používají se dva způsoby upnutí nástrojů - mechanické nebo hydraulické. Tyto způsoby jsou rozdílně odlišné u každého výrobce. Hlavním požadavkem zákazníka je rychlá a bezpečná výměna.



Obr. 17 Upnutí nástroje otevřené (vlevo) a uzavřené (vpravo) [29].

Prvním krokem při výměně razníku je uvolnění mechanického nebo hydraulického sevření (obr 17). Poté je nutné uchopit nástroj a vytáhnout z bezpečnostního výstupku, který chrání nástroj před pádem. Každý výrobce používá jiný typ bezpečnostní pojistky, která plní stejný účel. Následně je možné po vyjmutí vložit nový nástroj a je nutné sunout do doby, než zapadne bezpečnostní pojistka. Až poté je možné použití hydraulického sevření, které vystředí nástroj. Pokud se používá mechanické sevření, je upnutí stejné, až na rozdíl, že se nepoužije hydraulika, ale šestihranný šroub nebo upínka.

Stejný princip platí i pro zajištění matrice, kromě bezpečnostní pojistky. Není zde potřeba, jelikož nástroj nemá kam upadnout před sevřením. Po výměně matrice následuje mechanické nebo hydraulické sevření, kterým se nástroj vycentruje do osy stroje. Čtyř dutinové matrice se upínají pomocí svorek (obr. 18).

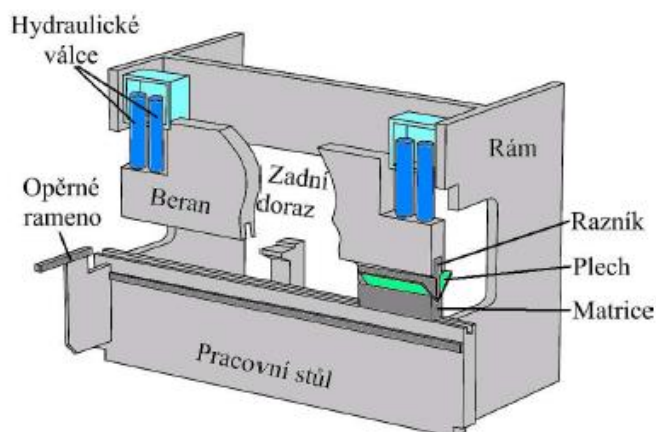


Obr. 18 Upnutí pomocí svorek [29].

2.4 Ohraňovací stroje [6], [11], [12], [15], [18], [24]

Mezi hlavní části stroje patří rám, druh pohonu, beran, pracovní stůl a řídicí panel. V některém případě je umístěno i přední opěrné rameno pro zpracovávaný materiál.

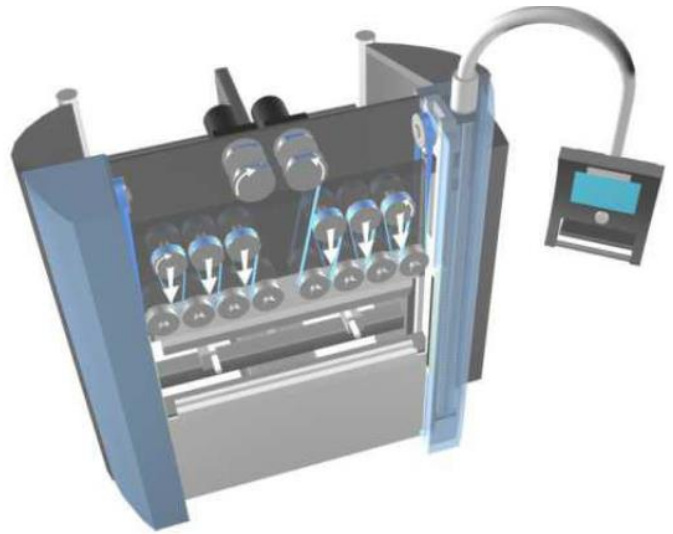
- Rám stroje – je hlavním konstrukčně nosným prvkem. Dle jeho tvaru se rozlišuje typ rámu. Existují dva, které jsou označovány dle tvaru písmen „C“ a „O“. Rám typu „O“ je robustnější a prokazuje větší tuhost a stabilitu, proto je používán pro větší ohybové síly. Také má v zadní části větší prostor na dorazy, které jsou po celé délce stroje. Ostatní komponenty jsou ke stoju přivařeny nebo



Obr. 19 Schéma hydraulického CNC lisu [24].

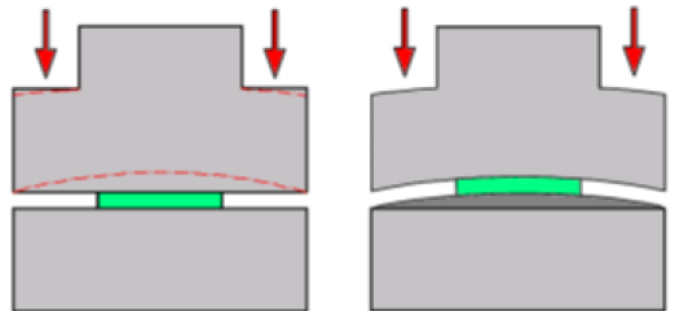
příšroubovány, dle potřeby jejich tuhosti. Pomocí počítačové simulace je prokázáno, že v rámu „O“ jsou menší hodnoty napětí deformace a celkově působí kompaktněji.

- Pohonná jednotka – v dnešní době je používána pouze elektrická nebo hydraulická. Hydraulický pohonný systém se skládá ze zubového čerpadla, řídicí jednotky, dvoustupňového tlakového vedení a hydraulických válců. Tyto válce řídí pohyb beranu ve svislém směru s přesností na 0,01 mm. Každý z válců je řízen samostatně. Pomocí tohoto systému lze ohýbat tlustostěnné materiály. V případě použití elektrického systému je pohyb beranu svisle dolů zajištěn systémem kladek a servomotorů, které jsou kontrolovány lineárními snímači. Zpět do horní polohy se dostane pomocí pružin, které jsou umístěny v rámu na obou stranách. Tento systém je velice přesný a urychluje výrobní cyklus, ale je vhodný pouze pro tenké plechy.



Obr. 20 Elektrický pohon lisu [18].

- Beran stoje – umožňuje přenos tvářecí síly, která je vytvořena pomocí pohonné jednotky. Pro přesný svislý pohyb beranu je v rámu stoje uloženo kluzné vedení. Toto vedení je kontrolováno pomocí liniového snímače, nejčastěji laserového. Spodní část, do které se upínají nástroje, musí být řešena pro rychlou a spolehlivou výměnu.



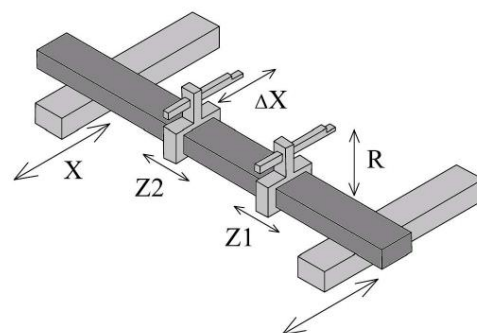
Obr. 21 Pružná deformace beranu. [11]

- Pracovní stůl – slouží k upínání matric a k využití bombírovacího systému, který pomáhá eliminovat pružnou deformaci beranu při hydraulickém pohonu. Tato deformace se nejvíce projevuje u dlouhých ohybů, kde se v krajních bodech nástroj nachází níže než jeho střed. Při velkých tvářecích silách může být rozdíl až 2 mm.
- Ovládací panel (obr. 22) - je součástí každého stroje a nyní je již vybaven dotykovou obrazovkou a klávesnicí. Operátor pomocí něho provádí korekci nástroje, simulaci ohybu, úpravu programu nebo sám tvoří celé programy.
- Dorazy (obr. 23) – jsou nedílnou součástí pro přesné úhly ohybu a zajišťují přesnou polohu materiálu před ohybem. Existují dva typy zadních dorazů,



Obr. 22 Ovládací panel [6]

nastavitelné nebo počítačově řízené a jsou uloženy na dvou pohyblivých ramenech. S každým z dorazů je možno pohybovat zvlášť pomocí řídicí jednotky a jsou povrchově upraveny pro větší odolnost proti opotřebení.



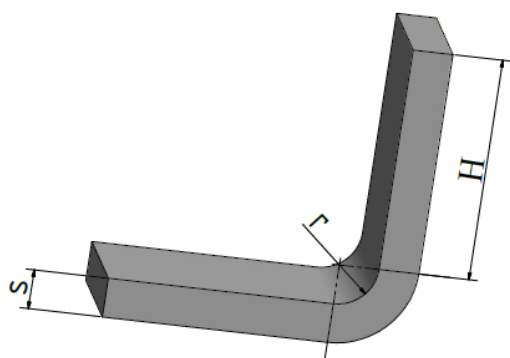
Obr. 23 Směry pohybů dorazů [18].

2.5 Technologičnost [10], [15], [24],

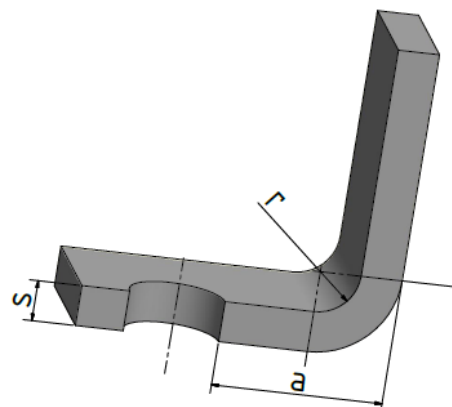
Technologičnost součásti je závislá na mechanických vlastnostech tvářeného materiálu a jeho tvářitelnosti. Pro dosažení co nej přesnějšího vyrobeného dílce je vhodné dodržovat základní pravidla ohybu, které jsou:

- Volit co nejmenší dovolený poloměr, zmenšuje se tím velikost odpružení.
- Pokud možno zvolit osu ohybu kolmo na vlákna materiálu, v opačném případě je nutné zvětšit poloměr ohybu.
- Minimální délka ramene od místa ohybu je dvojnásobkem tloušťky materiálu, tedy (obr. 24): $H > 2 \cdot s$ [mm] (2.15)
- Pro výlisky nevolit příliš nízké hodnoty tolerance.
- Provádět ohyby s kalibrací, eliminuje odpružení a zpřesňuje výlisky.
- Minimální vzdálenost od osy ohybu k začátku otvoru je dvojnásobek tloušťky materiálu, tedy (obr. 25):

$$a > 2 \cdot s$$
 [mm] (2.16)



Obr. 24 Minimální délka ramene od místa ohybu [10].



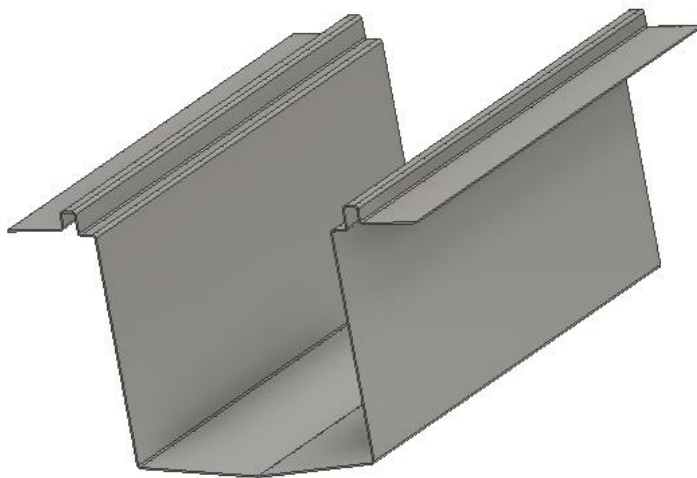
Obr. 25 Minimální vzdálenost osy ohybu k otvoru [10].

3 NÁVRH VÝROBY [14]

Vyráběná součást (obr. 26) je hlavní částí v liniovém odvodňovacím systému, kde slouží pro odvod vody nebo jiných kapalin. Součást je vyráběna z korozivzdorného ocelového plechu ČSN 41 7240 o tloušťce 1,5 mm. Tato ocel je dobře tváritelná a zaručuje svařitelnost.

Při vybírání vhodné výrobní technologie se zohledňovalo strojní vybavení společnosti ACO Industries k.s., kde bude součást vyráběna a zároveň se hledala co nejlepší kvalita za nízké náklady. Ohybové operace budou probíhat na ohraňovacím stroji.

Posouzení technologičnosti bylo provedeno pro každý ohyb operace, kde bylo zjištěno, že součást splňuje požadavky délky minimálního ramene, dle vztahu (2.15). Při přípravě polotovaru je nutné zohlednit orientaci dílu ke směru vláken v materiálu, aby případně nedocházelo k trhlinám na vnější straně ohybu. Proto je vhodné volit díly tak, aby osa ohybu byla kolmo na vlákna materiálu. Součást lze danou technologií vyrábět, splňuje všechny podmínky technologičnosti.



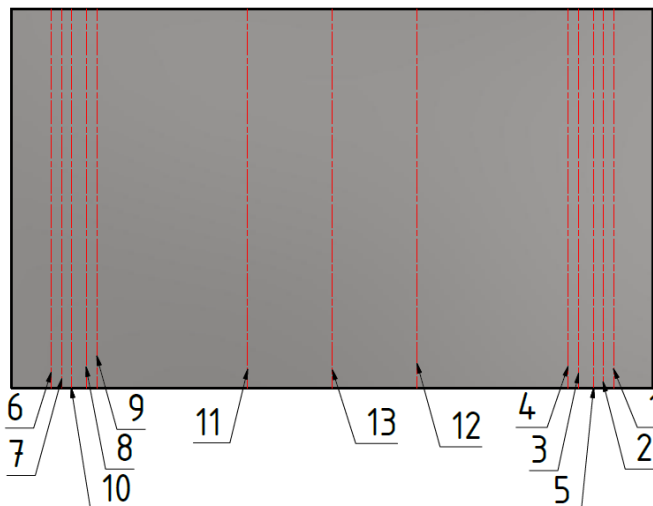
Obr. 26 Model tvářeného žlabu [14].

3.1 Postup ohraňování [10]

Při tvoření postupu ohýbání je důležité brát v úvahu celou řadu faktorů. U řešené součástky se jedná o vícenásobné ohraňování, kde je nutné zajistit správné pořadí ohybů a tím docílit toho, že všechny ohyby budou vytvořeny. Hlavním požadavkem je, aby nedošlo k poškození povrchu materiálu nebo vytvořeného ohybu. Zároveň je třeba předejít případné kolizi materiálu s nástrojem, dorazy nebo strojem, která by způsobila poškození dané části. Nutné je také dbát na bezpečnost obsluhy stroje.

Na vyráběné součásti je 13 ohybových operací. Prvních deset je pod úhlem 90°, poté následují dva ohyby pod úhlem 95° (č. 11 a 12) a závěrečný třináctý ohyb je pod úhlem 170°.

Pro zaručení správného vytvoření všech ohybů byl vypracován ohybový plán, který je vidět na obrázku 27. Pro tento postup budou následně vybrány nejvhodnější nástroje pro výrobu, samozřejmě s ohledem na strojní vybavení společnosti.



Obr. 27 Ohybový plán tvářené součástky [14].

3.2 Volba nástrojů [14], [28]

Na ohraňování společnost používá nástroje od firmy Trumpf, které jsou vyrobeny z nástrojové Cr – Mo oceli, která zaručuje vyšší pevnost a životnost. Ze strojního vybavení firmy se vyberou nejvhodnější razníky a matrice pro výrobu dané součásti.

Vhodnost matrice se volí dle tloušťky tvářeného materiálu, vnitřního poloměru ohybu a doporučenému rozevření „w“ dle katalogu Trumpf. Zohlednit se také musí maximální možné zatížení matrice pro daný materiál.

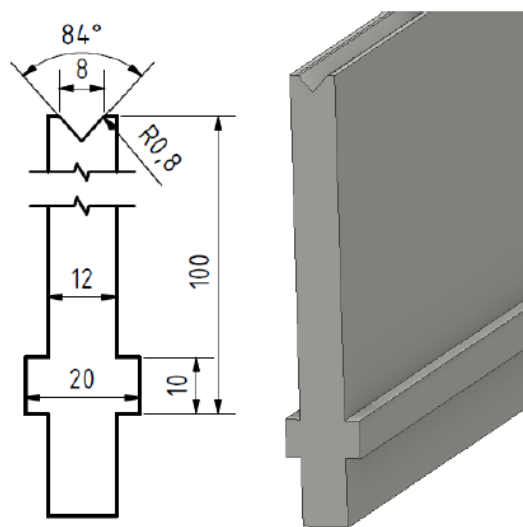
Při volbě vhodného ohybníku se musí brát v úvahu velikost poloměru špičky, kterou je tvořen vnitřní poloměr ohybu. V součásti je předepsaný minimální poloměr o velikosti tloušťky materiálu. V katalogu od výrobce nástrojů se nacházejí doporučené razníky k daným poloměrům.

Důležitým faktorem při výběru matric a razníků je, aby jedním druhem mohly být provedeny všechny ohyby na součástce. Pokud by se tak nestalo, musela by následovat výměna, která by znamenala prodloužení výrobního času. Na součástce jsou všechny poloměry ohybu stejné. To ušetří čas výroby, jelikož budou použity stejné nástroje na všechny ohyby.

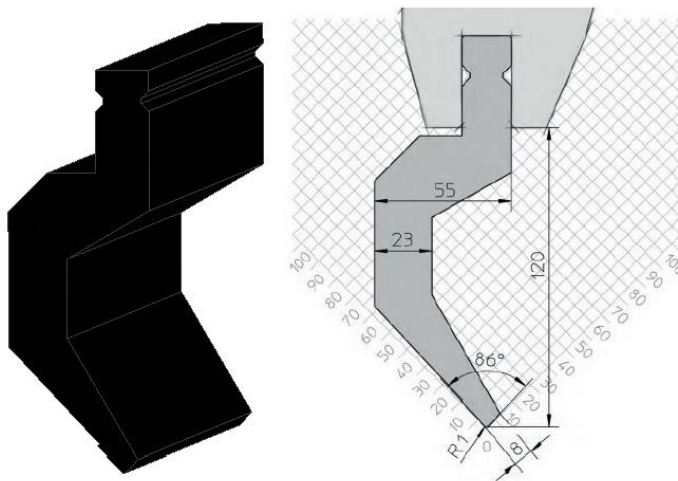
Nástroje se dodávají v různých délkách a jsou uvedeny v katalogu výrobce. Segmenty nástrojů se dají poskládat do vhodných délek. Doporučuje se, aby délka nástroje byla vždy delší než délka osy ohybu součástky.

Z dostupného strojního vybavení firmy a splnění výše uvedených podmínek byla pro výrobu vybrána matrice s katalogovým označením EV/S W8/84° (obr. 28). Její rozevření je 8 mm a pracovní úhel 84°. Šířka matrice je pouze 12 mm, dle katalogu umožňuje nejkratší povolený ohyb 5,7 mm. Maximální dovolené zatížení uvádí výrobce 350kN/m. Dle tabulky lisovací síly pro volné ohýbání do 90°, která je uvedena v katalogu Trumpf (příloha 5), bude potřeba k provedení ohybu maximální síla 318 kN. Z uvedených informací vyplývá vhodnost použití dané matrice.

Podobně byl ze strojního vybavení vybrán i ohybník, který nese katalogové označení OW200/K a lze ho vidět na obrázku 29. Poloměr špičky je 1 mm, velikost pracovního úhlu je 86° a jeho maximální zatížení je 800kN, tím splňuje maximální sílu potřebnou pro tváření zjištěnou z tabulky v příloze 5.



Obr. 28 Matrice EV/S W8/84° [28].



Obr. 29 Razník OW200/K [28].

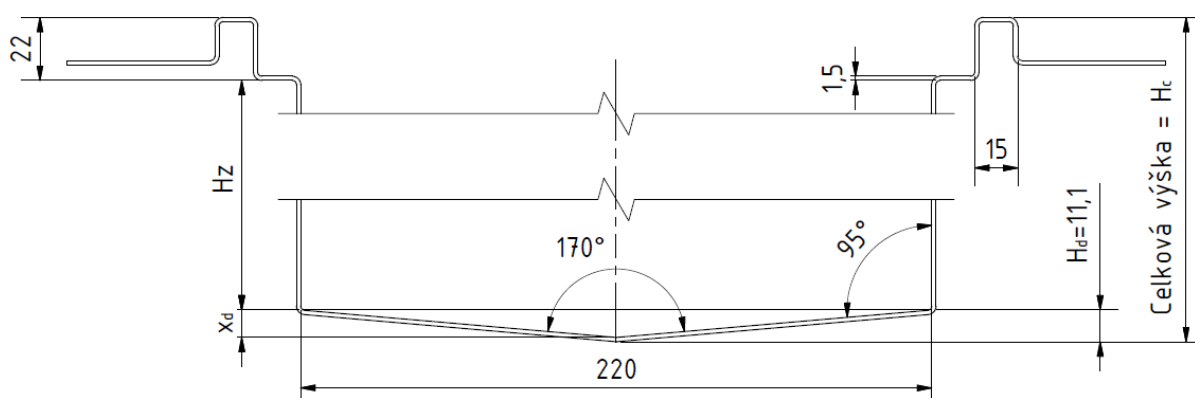
Ve strojním vybavení společnosti se nacházejí oba nástroje v délce 500 mm. Jelikož součást je dlouhá 496 mm a ohýbá se v celé délce, bude tímto splněna i podmínka technologičnosti o delším nástroji, než je osa ohybu.

3.3 Maximální a minimální výška žlabu

Výška řešeného žlabu se mění dle požadavku zákazníka, ale pouze v rozmezí, které lze vyrobit ohraňováním bez případné kolize materiálu s nástrojem. Dle zadaných rozměrů (obr. 30) byla zjištěna velikost hloubky ohybu dna včetně materiálu (H_d) pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2016 (dále jenom Inventor), která byla ověřena pomocí goniometrické funkce následovně:

$$\operatorname{tg} 5^\circ = \frac{x_d}{110} \rightarrow x_d = \operatorname{tg} 5^\circ \cdot 110 = 9,6 \text{ mm} \quad (3.1)$$

$$H_d = x_d + s = 9,6 + 1,5 = 11,1 \text{ mm} \quad (3.2)$$



H_z – výška rovné části [mm]; H_d – výška dna [mm]; H_c – celková výška žlabu [mm]

Obr. 30 Základní rozměry žlabu.

Celková minimální výška je odvozena ze vzdálenosti mezi osami ohybu č. 9 a 11 (následovně č. ohybů 4 a 12) dle ohybového plánu (obr. 27). Tato vzdálenost je závislá na použité matici a její minimální délce ramena ohybu. U použité matrice je uváděno od výrobce 5,7 mm včetně ohybu. Tato délka splňuje i podmínku technologičnosti danou vzorcem (2.15) následovně:

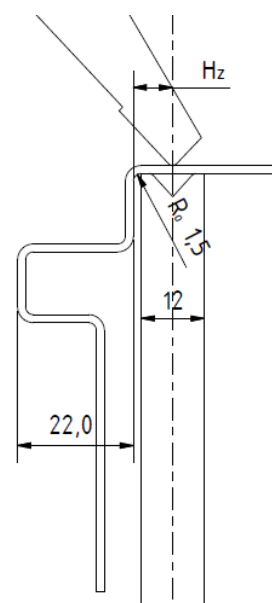
$$H > 2 \cdot s \rightarrow H > 2 \cdot 1,5 \rightarrow H > 3 \text{ mm}$$

Na obrázku 23 lze vidět, že minimální vyrobiteľnou výšku lze spočítat následovně:

$$H_c = H_d + H_z + 22 \text{ [mm]} \quad (3.3)$$

Poslední neznámá délka „ H_z “, vychází z minimální délky ramene od místa ohybu a musí splňovat výše uvedené podmínky. Z obrázku 31 lze vidět, že podmínka minimální délky bude splněna, jelikož použitá matrice má šířku 12 mm. Vzdálenost „ H_z “, která je rovna součtu poloviny matrice a vnitřního poloměru předchozího

ohybu, tj. $H_z = \frac{12}{2} + 1,5 = 7,5 \text{ mm}$.



Obr. 31 Schéma ohybu č.11 (12).

Velikost poloměru ohybu je nutné přičíst z důvodu přesného ustavení součásti před ohybem. Celková minimální výška žlabu se spočítá ze vztahu (3.3):

$$H_c = H_d + H_z + 22 = 11,1 + 7,5 + 22 = 40,6 \text{ mm}$$

Vypočítaná minimální výška žlabu byla zaokrouhlena na celé číslo a to na 41 mm.

Maximální výška žlabu je závislá na ohybu č. 12, zobrazeném na obrázku 32. Zde je nutné předejít kolizi ohýbaného materiálu s beranem lisu. S pomocí programu Inventor byl vytvořen schématický model ohybu č. 12 (obr. 31). Rozměry razníku a beranu byly použity zpracovního diagramu nástroje (obr. 29). Pomocí modelu byla zjištěna maximální délka ohýbaného ramena, která byla ověřena pomocí goniometrických funkcí následovně:

$$\sin 47,5^\circ = \frac{x_p}{220} \rightarrow x = \sin 47,5^\circ \cdot 220 = 162,2 \text{ mm} \quad (3.4)$$

$$\cos 52,5^\circ = \frac{x_p - 40}{x_1} \rightarrow x_1 = \frac{162,2 - 40}{\cos 52,5^\circ} = 200,7 \text{ mm} \quad (3.5)$$

Vypočtené hodnoty se mírně liší od zjištěných pomocí Inventoru, příčinou je zaokrouhlování. Při dalších výpočtech budou použity hodnoty zjištěné pomocí početní metody.

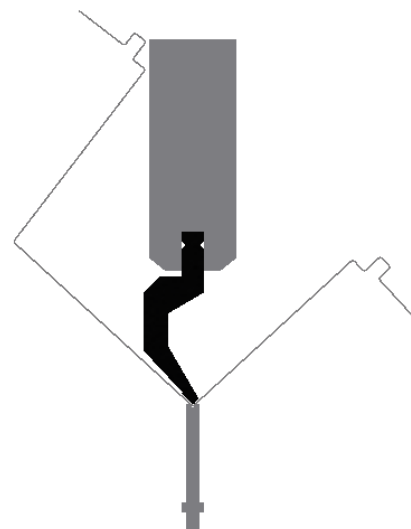
Poté celkovou maximální výšku žlabu lze spočítat:

$$H_{C_{\max}} = 20,5 + x_1 + H_d \quad (3.6)$$

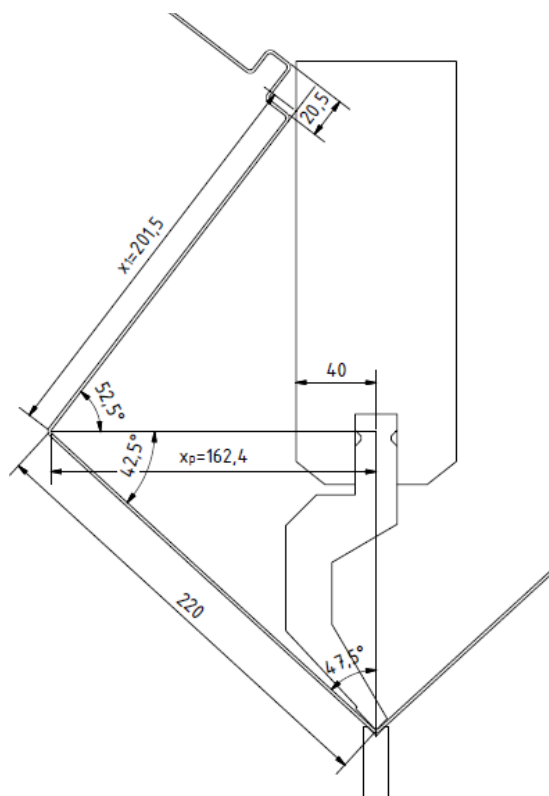
$$H_{C_{\max}} = 20,5 + 200,7 + 11,9 = 233,1 \text{ mm}$$

Pro zlepšení bezpečnosti při ohraňování této součásti a předejití kolizi stroje s materiálem je maximální celková výška stanovena na $H_{C_{\max}} = 230 \text{ mm}$.

Pro tuto maximální výšku bude dále zjištěn potřebný rozvin součástky, postup ohýbání a také budou vypočteny parametry ohýbání.



Obr. 32 Model ohybu č. 12.



Obr. 33 Schéma ohybu č. 12.

3.4 Stanovení rozvinuté délky [14]

Pro výrobu zadaného žlabu je nezbytné stanovit přesnou délku rozvinuté součásti, ze které lze stanovit přesný rozměr polotovaru. Celkový rozvin se zjistí ze součtu všech délek neutrálních os v ohnutých a rovných částech součásti. Osa závěrečného třináctého ohybu slouží také jako osa symetrie součásti. Na každé straně součásti je šest zrcadlově stejných ohybů. Žlab je vyráběn z plechu o tloušťce 1,5 mm.

V následujícím kroku bude zapotřebí vypočítat vzdálenost poloměru neutrální osy od středu zaoblení. Důležité je výpočtem zkontrolovat minimální výrobitelný poloměr ohybu, aby nedošlo k porušení celistvosti materiálu nebo nepřesné výrobě. Vnitřní poloměr byl zvolen pro všechny ohyby stejný a to $R_o = 1,5$ mm, poslední důležitá hodnota je součinitel „x“, který je uveden v tab. 3, kde dle poměru $R_o/s = 1,5/1,5 = 1$ je součinitel roven 0,42. Následně lze spočítat vzdálenost „ ρ “ dle vzorce (2.3):

$$\rho = R_o + s \cdot x = 1,5 + 1,5 \cdot 0,42 = 2,13 \text{ mm}$$

Výsledná hodnota neutrálního vlákna je $\rho = 2,13$ mm.

Dále je nutné ověřit, zda vnitřní zvolený poloměr bude vyhovovat a nevzniknou trhliny na vnější straně ohybu, který je označen jako „ R_2 “ a je roven součtu vnitřního poloměru a tloušťky materiálu, tj. $R_2 = R_o + s = 1,5 + 1,5 = 3$ mm.

- Poloměr ohybu „ R_{1min} “ se spočítá ze vztahu (2.7) a (2.8):

$$R_{1min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{1max}} - 1 \right) = \frac{1,5}{2} \cdot \left(\frac{1}{0,4084} - 1 \right) = 1,086 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{1max} = \frac{l_2 - l_1}{l_1} = \frac{R_2 \cdot \alpha - \rho \cdot \alpha}{\rho \cdot \alpha} = \frac{R_2 - \rho}{\rho} = \frac{3 - 2,13}{2,13} = 0,4084$$

Z výpočtu vyplývá, že zvolený poloměr ohybu lze vyrobit bez porušení materiálu.

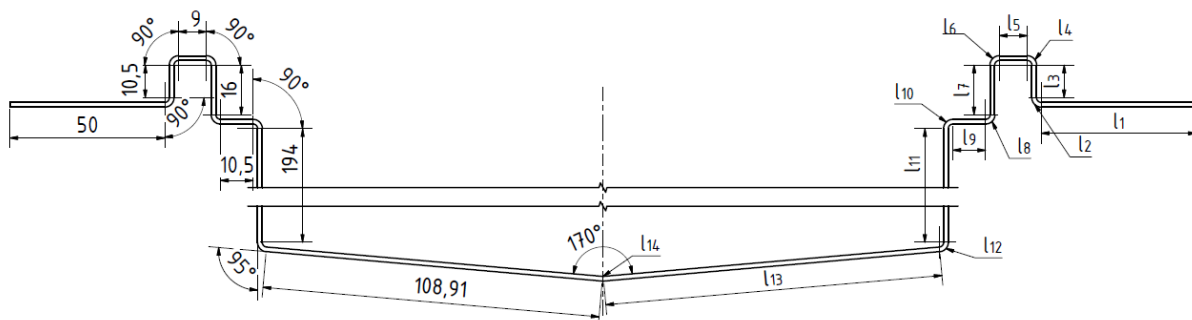
$$R_{1min} < R_o \rightarrow 1,086 < 1,5$$

- Poloměr ohybu „ R_{1max} “ se spočítá ze vztahu (2.10):

$$R_{1max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{Re} - 1 \right) = \frac{1,5}{2} \cdot \left(\frac{2 \cdot 10^5}{295} - 1 \right) = 507,7 \text{ mm}$$

Z výpočtu je zřejmé, že největší výrobitelný poloměr ohybu za daných podmínek je 507,7 mm. Při větším poloměru ohybu by došlo pouze k elastickým deformacím a po odlehčení by se materiál vrátil do původní polohy.

Součást lze rozdělit na rovinné a ohnuté úseky (l_1 - l_{14}) s využitím osy symetrie v závěrečném ohybu. Z obrázku 34 lze vidět, že na jedné půlce součásti je 7 rovinných a 7 ohnutých úseku, přičemž z ohnutých je 5 stejných. Rovinné jsou uvedeny v tabulce 5.



Obr. 34 Označení úseků na součásti [10].

Tab. 5 Hodnoty rovinných úseků [14].

Úsek	l_1	l_3	l_5	l_7	l_9	l_{11}	l_{13}
Délka [mm]	50	10,5	9	16	10,5	194	108,91

Délky ohnutých úseku se vypočítají dle vzorce (2.4), kde se mění velikost úhlů pro jednotlivé úseky.

$$l_{2;4;6;8;10} = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot 2,13 = 3,35 \text{ mm}$$

$$l_{12} = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 85}{180} \cdot 2,13 = 3,16 \text{ mm}$$

$$l_{14} = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 10}{180} \cdot 2,13 = 0,37 \text{ mm}$$

Následně se celková délka rozvinuté součásti vypočítá dle vzorce (2.6) s ohledem na využití osy symetrie.

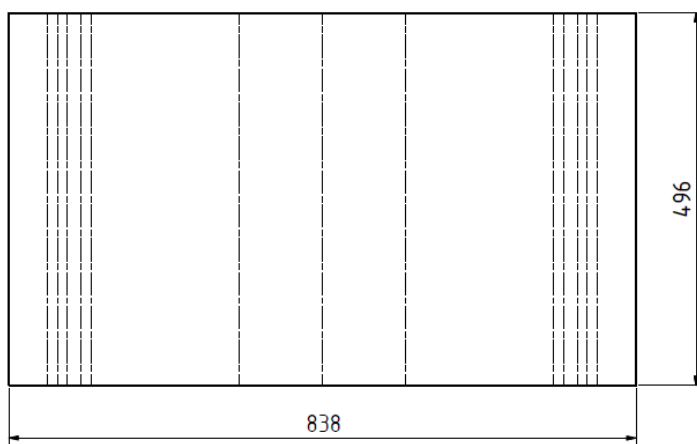
$$L_c = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{j=1}^n l_j = 797,82 + 40,19 = 838,01 \text{ mm}$$

$$L_i = (\sum_{i=1}^n l_i) \cdot 2 = (50 + 10,5 + 9 + 16 + 10,5 + 194 + 108,91) \cdot 2 = 797,82 \text{ mm}$$

$$L_o = \sum_{j=1}^n l_j = 3,35 \cdot (5 + 2) + 3,16 \cdot 2 + 0,37 = 40,19 \text{ mm}$$

Celková výsledná délka rozvinuté součásti se zaokrouhlí na celé číslo s ohledem na výrobní přesnost, tedy na 838 mm.

Rozvin součásti byl také zjištěn pomocí programu Inventor. Zde požadání parametrů byla vypočtena celková rozvinutá délka 836 mm, která je odlišná od vypočtené. Jen těžko lze určit bez zkoušky výroby, která z délek je správná. Vzhledem k požadované přesnosti výroby lze považovat obě hodnoty za použitelné. Dále bude použita vypočtená délka, tedy $L_c = 838 \text{ mm}$.



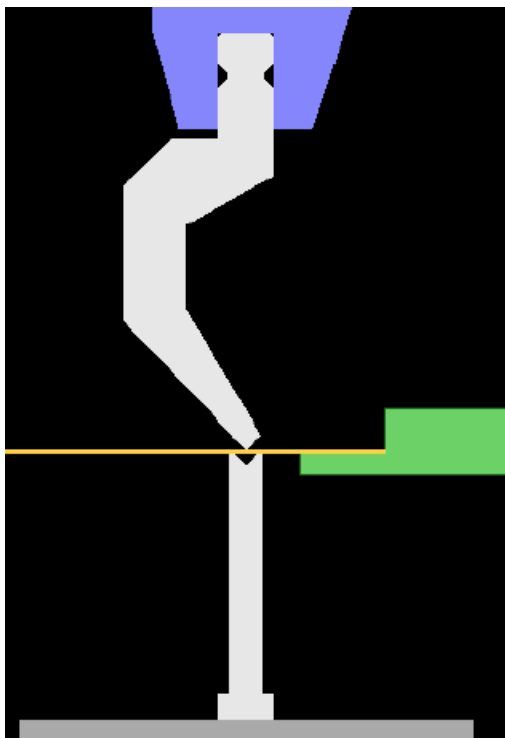
Obr. 35 Rozvin součástky [14].

3.5 Postup ohýbání [14], [28]

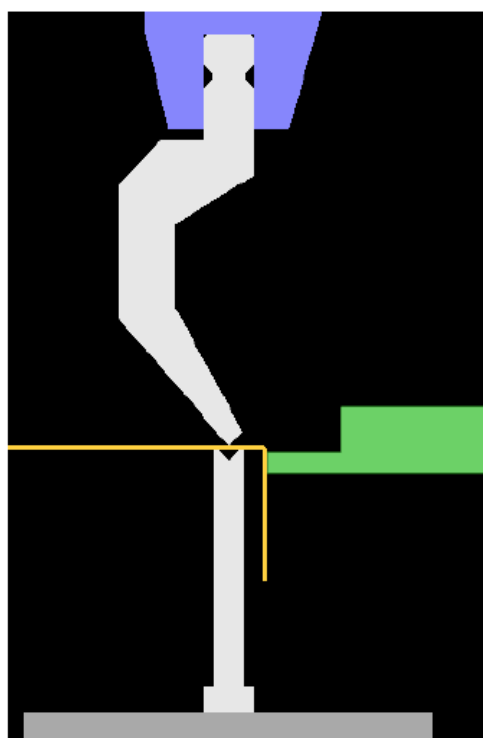
Ohyby budou prováděny dle ohybového plánu (obr. 27), který byl vytvořen pomocí programu TruTops Bend. Pomocí tohoto programu byly vytvořeny i obrázky s jednotlivými ohyby. Na všechny ohyby bude použita matrice EV/S W8/84° a ohybník OW200/K v délce 500 mm. Délka všech ohybů bude 496 mm.

- Ohyb č. 1 (obr. 36) je ohnut nástroji na úhlem 90°. Vnitřní poloměr ohybu se bude rovnat tloušťce materiálu, tj. 1,5 mm. Před ohybem se rozvinutý polotovár ustaví na dotyk zadních dorazů a vzdálenost k ose ohybu od dorazů bude 51,67 mm. Ohyby lze provádět v jakémkoliv prostoru, jelikož součást není rozměrnější.

- Ohyb č. 2 (obr. 37), je proveden pod úhlem 90° . Vnitřní poloměr ohybu je předepsaný na 1,5 mm. Součást se ustaví na dotyk zadních dorazů. Vzdálenost od dorazů k ose ohybu bude 15,17 mm.

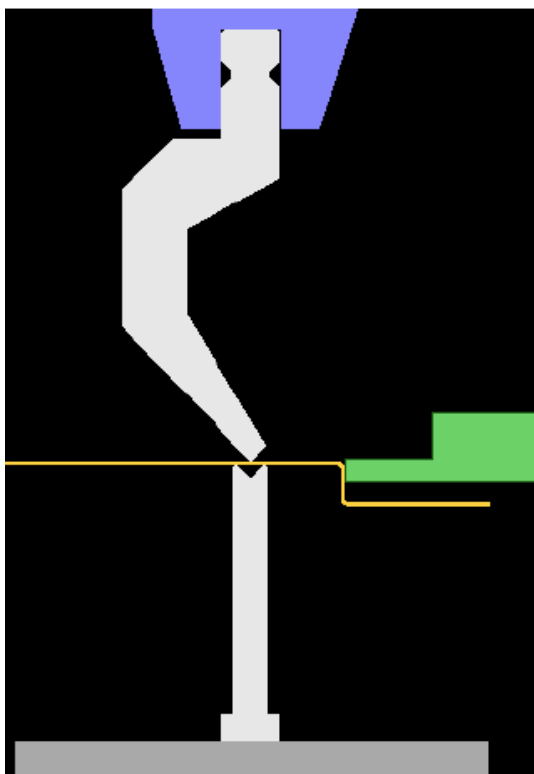


Obr. 36 Pohled před ohybem č. 1.

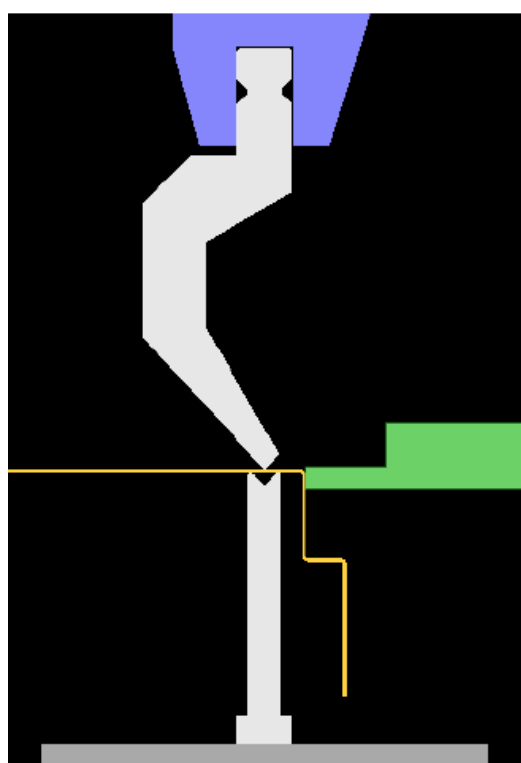


Obr. 37 Pohled před ohybem č. 2.

- Ohyb č. 3 (obr. 38) je tvořen pod úhlem 90° . Poloměr ohybu je stejný jako v předcházejících ohybech, tj. 1,5 mm. Součást bude dotlačena na dva zadní dorazy, které jsou od osy ohybu vzdáleny 31,33 mm.

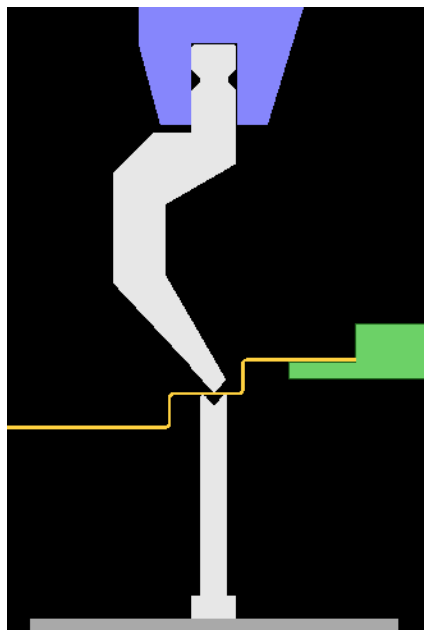


Obr. 38 Pohled před ohybem č. 3.

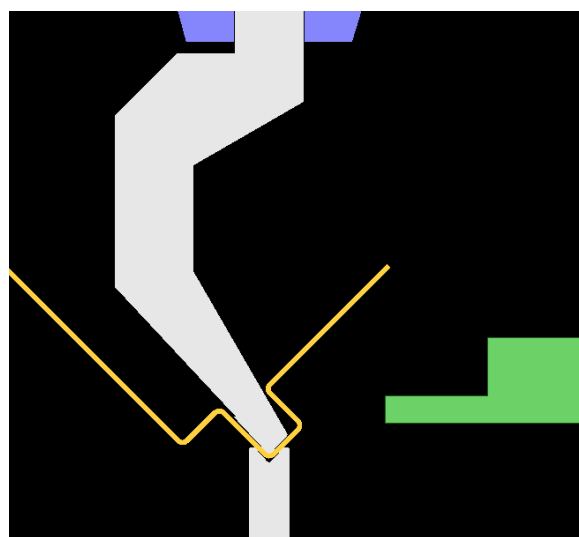


Obr. 39 Pohled před ohybem č. 4.

- Ohyb č. 4 (obr. 39) - jeho úhel ohybu je 90° . Jako v předchozích ohybech bude vnitřní poloměr 1,5 mm. Před ohybem se součást ustaví pomocí dotlačení na zadní dorazy. Vzdálenost od osy ohybu k dorazům je 15,17 mm.
- Ohyb č. 5 (obr. 40) je poslední ohyb ve vrchní části žlabu, která slouží k uložení roštu. Úhel i vnitřní poloměr ohybu je stejný jako v předešlých ohybech, tj. úhel ohybu je 90° a poloměr 1,5 mm. Před ohybem se součást dotlačí na dva zadní dorazy, které jsou od osy vzdáleny 65,17 mm. Z obrázku 41 lze vidět důvod použití vyhnutého ohybníku, který umožní vytvořit požadovaný tvar.



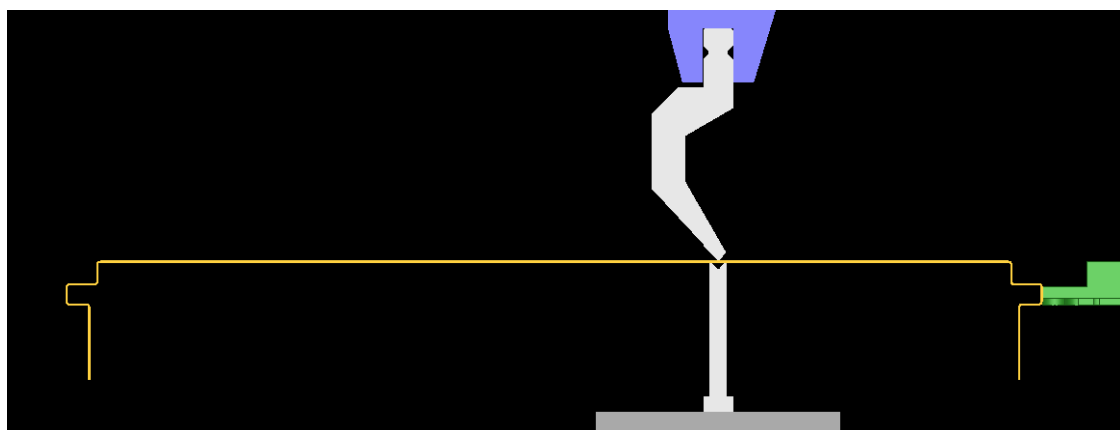
Obr. 40 Pohled před ohybem č. 5.



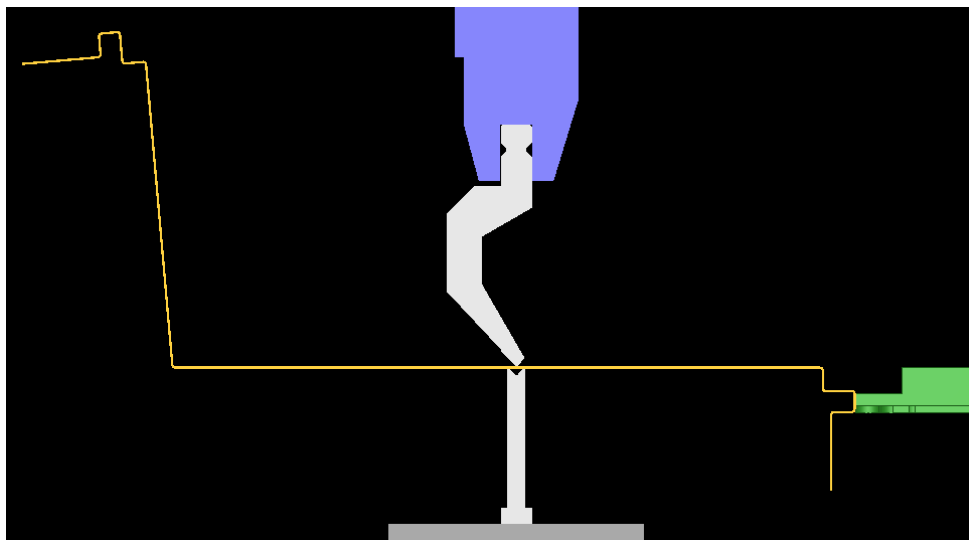
Obr. 41 Po ohybu č. 5.

Po dokončení ohybu č. 5 se součást vyjme a obrátí. Následně se vytvoří postupně ohyby č. 6, 7, 8, 9 a 10, které jsou zrcadlově stejné jako výše popsané. Po dokončení ohybu č. 10 následují poslední tři ohyby ve dnu součástky.

- Ohyby č. 11 (obr. 42) a č. 12 (obr. 43) - tyto ohyby určují výšku žlabu ohybu. Oba ohyby jsou pod úhlem 95° a jsou zrcadlově stejné. Vnitřní poloměr ohybu je předepsaný na 1,5 mm. K přesnému ustavení součástky budou použity zadní dorazy, na které se součást dotlačí. V obou případech bude osa ohybu od dorazů vzdálená 219,08 mm.

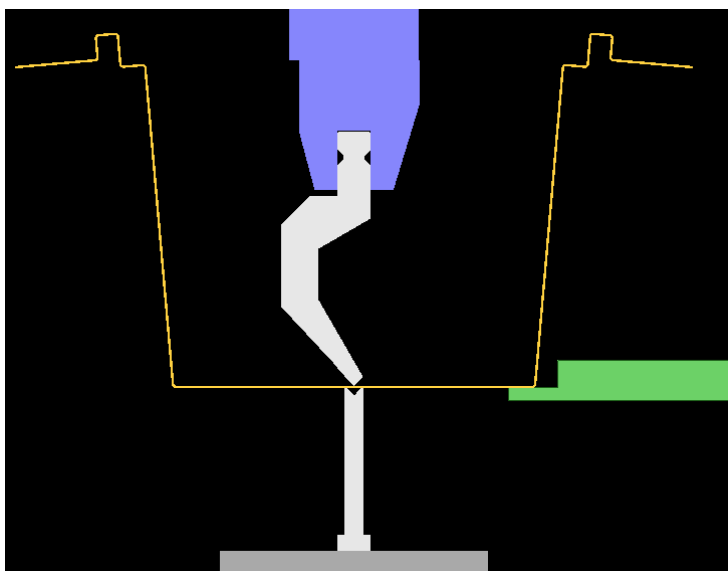


Obr. 42 Pohled před ohybem č. 11.

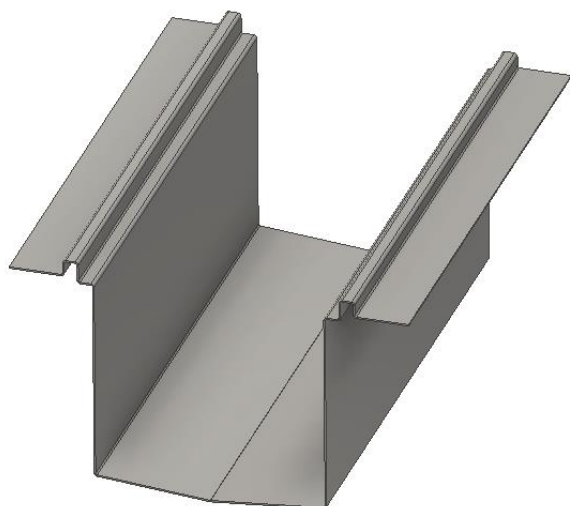


Obr. 43 Pohled před ohybem č. 12.

- Ohyb č. 13 (obr. 44) je poslední ohyb, který je v ose symetrie součástky. Tento ohyb bude vykonán pod úhlem 170° . Poloměr vnitřní poloměr ohybu bude 1,5 mm. Při tomto ohybu bude součást ustavována pomocí dorazů pouze ve svislém směru, tj. směr beranu nástroje. Ve vodorovném směru bude přesnost ustavení na obsluze CNC lisu, která pomocí předgravírované osy správně založí součástku pro ohyb. Tato osa byla vytvořena při přípravě rozvinutého polotovaru, který byl vytvořen pomocí laseru.



Obr. 44 Pohled před ohybem č. 13.



Obr. 45 Vyrobená součást [10].

Po dokončení ohýbání, je nutné součástku vizuálně zkontrolovat a předejít tak možným reklamacím zákazníka. Je dobré zkontrolovat součást, aby se na povrchu nenacházely žádné rýhy, případně trhliny, které by mohly nastat při ohýbání.

3.6 Výpočet parametrů pro ohýbání

Pro určení správného stroje na výrobu součástky je nutné vypočítat důležité parametry ohýbání. Mezi tyto parametry patří velikost ohraňovací síly, výsledné práce a odpružení pro každý ohyb.

➤ Ohraňovací síla a práce

Velikost potřebné síly pro daný ohyb bude zjištěna po úpravě vzorce (2.14). Tento vzorec vypočte sílu pouze pro jeden metr ohýbané délky. Velikost rozevření matrice „w“ je dle použité matrice 8 mm a hodnota meze kluzu byla určena dle tabulky 1 na 640 MPa. Pro jeden metr ohybu se ohraňovací síla vypočítá následovně:

$$F_{oh} = \frac{s^2 \cdot 2 \cdot Rm}{1,4 \cdot w} = \frac{1,5^2 \cdot 2 \cdot 640}{1,4 \cdot 8} = 257,1 \text{ kN/m}$$

Pro výpočet výsledné práce je nutné znát, potřebnou velikost síly pro danou délku ohybu. Délka všech ohybů bude stejná a je dle výkresu stanovená na hodnotu 496 mm. Vzorový výpočet velikosti síly bude proveden pro ohyb číslo 1:

$$F_{ohl} = F_{oh} \cdot l_{ohl} = 257,1 \cdot 0,496 = 127,5 \text{ kN} \quad (3.7)$$

Výsledná velikost ohraňovací síly pro ohyb číslo 1 je $F_{ohl} = 127,5 \text{ kN}$. Tato síla bude stejná pro všechny ohyby, jelikož každý ohyb má stejnou délku a je tvářen stejnými nástroji.

Velikost ohraňovací práce se vypočítá ze vzorce (2.13). Použitá matrice má tvar dutiny „V“, tím pádem je její hodnota koeficientu zaplnění pracovního diagramu rovna $1/3 = 0,33$. Délky drah razníku byly zjištěny pomocí programu TruTops Bend. Dráhy jsou závislé na velikosti úhlu ohybu, kde pro úhel 90° platí dráha 2,78 mm, pro 95° platí dráha 2,64 mm a pro 170° je dráha 0,41 mm.

$$A_{ol} = m_v \cdot F_{ov} \cdot h_r = 0,33 \cdot 127,5 \cdot 2,78 = 117 \text{ J}$$

Vypočtené hodnoty jsou pro lepší přehled umístěny v tabulce 6 dle pořadí ohybů.

Tab. 6 Vypočtené hodnoty síla a práce pro ohyby.

Číslo ohybu	Ohraňovací síla F_{oh} [kN]	Dráha ohybníku h_r [mm]	Ohraňovací práce A_o [J]
1 ÷ 10	127,5	2,78	117
11 ÷ 12	127,5	2,64	111,1
13	127,5	0,41	17,3

V katalogu od výrobce nástrojů je uvedeno maximální možné zatížení daného nástroje (příloha 5). Pro ohybník OW200/K je výrobcem určená hodnota 800 kN/m a pro matrici s označením EV/S W8/84° je zatížení 350 kN/m. Výše byla vypočítaná ohraňovací síla o velikosti 257,1 kN/m. Tato síla nepřekračuje maximálnímu zatížení nástrojů a lze říct, že nedojde k přetížením a tím pádem ke zničení nástrojů.

➤ Odpružení

Je nedílnou součástí každého ohybu, protože celková deformace vzniklá při ohybu se skládá z plastické a elastické složky deformace. Přičemž právě elastická složka způsobuje odpružení. V důsledku toho dochází po ohybu ke změně vytvořeného úhlu. Odpružení bude vypočítáno pomocí vzorce (2.11). Hodnota „w“ byla zvolena dle použité matrice, která má rozevření 8 mm. Hodnota meze kluzu materiálu byla určena dle tabulky 1 jako $Re = 295 \text{ MPa}$ a modul pružnosti v tahu je pro běžné ocelové materiály roven $E = 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$. Součinitel „k“ pro učení polohy neutrální osy je $k = 1 - 0,42 = 0,58$. Lze

vidět, že uvedený vztah pro výpočet odpružení není závislý na velikosti úhlu ohybu, tím pádem bude pro všechny ohyby velikost odpružení stejná.

$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \cdot \frac{w}{k \cdot s} \cdot \frac{\operatorname{Re}}{E} = 0,375 \cdot \frac{8}{0,58 \cdot 1,5} \cdot \frac{295}{2 \cdot 10^5} = 0,0136$$

$$\beta = \operatorname{arctg}(0,0136) = 0,779^\circ = 0^\circ 46' 45''$$

Vypočtená velikost odpružení není příliš velká, ale ani zanedbatelná. Je důležité s ní počítat, jelikož součást je tvořena třinácti ohyby a odpružení by se sčítalo u každého ohybu a v konečné fázi by mohlo ovlivnit výsledný tvar. Tato hodnota je pouze informativní, přesná velikost odpružení bude zjištěna až při výrobě součástky, kde bude proveden první ohyb a změřen se velikost úhlu. Následně se změní výrobní úhel o rozdílnou hodnotu odpružení a ohyb se vytvaruje znovu. Všechny ohyby jsou tvářeny pomocí volného ohýbání, a proto se korekce úhlu provede zvýšením výrobního úhlu o hodnotu odpružení.

3.7 Volba ohraňovacího stroje [14], [17], [29]

Při volbě ohraňovacího stroje je důležité splnit podmínky pro výrobu součástky, a to z hlediska délky ohybu a s tím spojenou maximální sílu pro daný ohyb. Na součásti jsou všechny ohyby stejně dlouhé – tedy 496 mm. Síla pro jednotlivé ohyby je neměnná a její velikost je 127,5 kN. Následně je důležité zohlednit tloušťku tvářeného materiálu, která je 1,5 mm. Velikost pracovního prostoru lisu je důležitá pro rozměrnější součástky, což tvářená součást není.

Ve strojním vybavení společnosti se nachází několik CNC lisů od firmy Trumpf. Po zohlednění výše uvedených podmínek, byl pro výrobu vybrán ohraňovací CNC lis s označením TruBend 5130 (obr. 46). Pracovní délka stroje je 3 230 mm. Jmenovitá ohraňovací síla je 1 300 kN a další parametry lisu jsou uvedeny v tabulce 7.



Obr. 46 Hydraulický CNC lis TruBend 5130 [29].

Tab. 7 Technické parametry stroje TruBend 5130 [17].

Lisovací síla [kN]	1 300	Hmotnost [kg]	10 800
Pracovní délka [mm]	3230	Příkon [kVA]	24
Tvářecí tlak [bar]	300	Max. pracovní rychlost [mm/s]	25
Maximální zdvih [mm]	445	Šířka [mm]	1 800
Maximální prodleva [ms]	95	Délka [mm]	3 980
Vyložení [mm]	420	Výška [mm]	2 375

Z tabulky 7 je zcela viditelné, že potřebná síla pro ohyby je přibližně desetkrát menší než jmenovitá síla lisu, a i jeho pracovní prostor je zcela dostačující pro výrobu dané součástky.

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Pro zjištění správnosti a výhodnosti zvolené výroby je nutné provést technické a ekonomické zhodnocení. V tomto hodnocení budou vypočítány náklady spojené s výrobou součásti pomocí zvolené technologie a bude provedeno zhodnocení vyrobiteľnosti součástky.

Pro výrobu součásti byl zvolen hydraulický CNC lis od společnosti Trumpf s označením TruBend 5130, který splňuje požadované podmínky výroby. Jeho jmenovitá síla je 1 300 kN, tj. asi desetkrát více než je požadováno pro jednotlivé ohyby. Na vytvoření požadovaného tvaru byly zvoleny nástroje také od společnosti Trumpf, a to matrice s označením EV/S W8/84° a razník OW200/K. K těmto nástrojům byla vypočítána maximální a minimální vyrobiteľná výška žlabů, kde maximální je 230 mm a minimální 41 mm. Při celkovém zhodnocení vyrobiteľnosti součásti k technickým požadavkům bylo zjištěno, že výroba součásti je proveditelná bez potíží.

4.1 Ekonomické zhodnocení

Ekonomické zhodnocení bude vycházet z výrobních nákladů, které byly uvažované pro výrobu součásti. Mezi tyto náklady budou započteny jednotlivé položky na dělení materiálu pomocí CO₂ laseru a ohraňování. Z důvodu použití stávajícího strojního vybavení nebudou započteny náklady na pořízení nástrojů a strojů. Dále bude metoda výroby porovnávána se starší variantou řešení, kde bylo zapotřebí ještě započítat náklady na ruční svařování metodou TIG.

Starší varianta řešení rozdělovala žlab na dvě symetrické části, tzn. nebyl vytvořen ohyb č. 13. Místo tohoto ohybu se dvě části žlabu umístily do přípravku a pomocí ručního sváření, metodou TIG byly spojeny k sobě. Tato metoda je také využívána pro žlaby s větší maximální výškou, než jaká byla vypočítána.

Výrobní série byla stanovena na $Q_r = 2\,000$ kusů/rok a ekonomické porovnání zvolené metody řešení a staré varianty bude počítáno pro výšku žlabu 230 mm. Pro lepší orientaci mezi starým a nově zvoleným řešením byla vytvořena tabulka 8 se změnami.

Tab. 8 Změny výrobních technologií u zvolené a staré varianty výroby.

Výrobní technologie	Staré řešení	Zvolené řešení	Zhodnocení – nového řešení
Laser CO ₂	x	x	o cca 1 m řezu méně
Ohraňování	x	x	o jeden ohyb více
Ruční svařování TIG	x		o cca 0,5 m svaru méně

➤ Náklady na dělení materiálu

Z důvodu, že společnost vlastní CO₂ laser, bude rozvinutý polotovár připravován pomocí něho. Náklady na provoz stroje včetně obsluhy byly stanoveny na $N_1 = 20$ Kč/min. K určení celkové ceny nákladů na dělení materiálu je nutné vypočítat obvod součásti (obr. 46a). Obvod starého řešení (obr. 47b) je přibližně o jeden metr delší, z důvodu rozdělení žlabu na dvě části. Toto je jednoznačně viditelné na obrázku 47. Pomocí vypočteného rozvinu pro maximální výšku byly vypočteny obvody polotovaru součástky.

$$O_1 = 2 \cdot \check{s}_r + 2 \cdot d_r = 2 \cdot 496 + 2 \cdot 838 = 2\,668 \text{ mm} \quad (4.1)$$

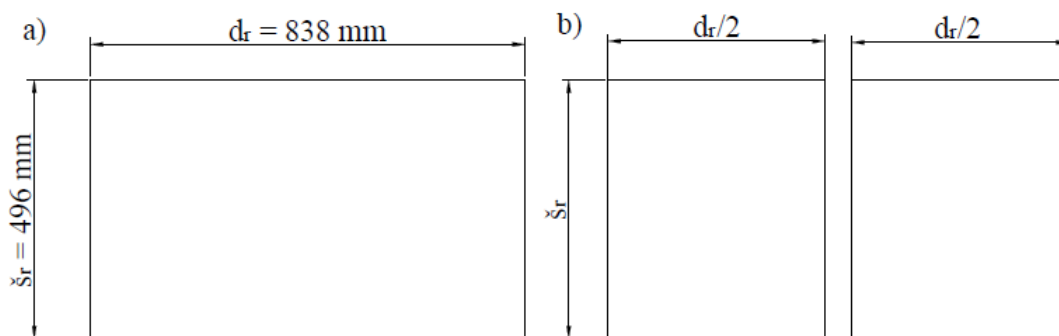
$$O_2 = 4 \cdot \check{s}_r + 2 \cdot d_r = 4 \cdot 496 + 2 \cdot 838 = 3\,360 \text{ mm} \quad (4.2)$$

kde: O_1 – obvod zvolené varianty řešení [mm]

O_2 – obvod staré varianty řešení [mm]

\check{s}_r – šířka rozvinu žlabu [mm]

d_r – délka rozvinu žlabu [mm]



Obr. 47 Zvolený obvod (vlevo) a obvod starého řešení (vpravo).

Vypočítané délky obvodů byly převedeny na metry a zaokrouhleny na $O_1 = 2,67$ m a $O_2 = 3,36$ m. Dále tyto hodnoty byly použity pro výpočet celkového času řezu. Velikost rychlosti řezu CO_2 laseru byla stanovena na $V_l = 8$ m/min.

$$t_{o1} = \frac{O_1}{V_l} \cdot 60 = \frac{2,67}{8} \cdot 60 = 20,03 \text{ s} \quad (4.3)$$

$$t_{o2} = \frac{O_2}{V_l} \cdot 60 = \frac{3,36}{8} \cdot 60 = 27,45 \text{ s} \quad (4.4)$$

kde: t_{o1} – čas řezu obvodu zvolené varianty [s]

t_{o2} – čas řezu obvodu staré varianty [s]

K vypočítaným časům řezu obvodu je nutné přičíst čas zápichu $t_z = 3$ s a délku času vyjetí $t_v = 3$ s.

$$t_{c1} = t_{o1} + t_z + t_v = 20,03 + 3 + 3 = 26,03 \text{ s} \quad (4.5)$$

$$t_{c2} = t_{o2} + 2 \cdot t_z + 2 \cdot t_v = 27,45 + 2 \cdot 3 + 2 \cdot 3 = 39,45 \text{ s} \quad (4.6)$$

kde: t_{c1} – celkový čas řezu obvodu zvolené varianty [s]

t_{c2} – celkový čas řezu obvodu staré varianty [s]

Náklady na dělení materiálu za jeden kus pomocí zvolené metody N_{d1} a staré varianty N_{d2} jsou:

$$N_{d1} = t_{c1} \cdot N_l \cdot \frac{1}{60} = 26,03 \cdot 20 \cdot \frac{1}{60} = 8,68 \text{ Kč / kus} \quad (4.7)$$

$$N_{d2} = t_{c2} \cdot N_l \cdot \frac{1}{60} = 39,45 \cdot 20 \cdot \frac{1}{60} = 13,15 \text{ Kč / kus} \quad (4.8)$$

➤ Náklady na ohraňování

Náklady na provoz ohraňovacího lisu TruBend 5130 včetně obsluhy byly stanoveny na $N_o = 18$ Kč/min. Výrobní čas pro zvolenou metodu byl stanoven na $t_{oh1} = 2,3$ min a pro staré řešení $t_{oh2} = 1$ min, ale tento čas je pouze pro jednu část žlabu. Výsledné náklady na ohraňování pro zvolenou variantu N_{o1} a staré řešení N_{o2} jsou:

$$N_{o1} = N_o \cdot t_{oh1} = 18 \cdot 2,3 = 41,4 \text{ Kč / kus} \quad (4.9)$$

$$N_{o2} = N_o \cdot 2 \cdot t_{oh2} = 18 \cdot 2 \cdot 1 = 36 \text{ Kč / kus} \quad (4.10)$$

➤ Náklady na ruční svařování metodou TIG

Tyto náklady se nacházejí pouze u staré varianty řešení, kde je žlab po své celé délce místo ohybu č. 13 svařen. Celkový čas svařování žlabu, včetně bodování a rovnání byl stanoven na $t_{s2} = 10$ min. Požadované náklady na svařování včetně obsluhy jsou stanoveny na $N_s = 8$ Kč/min. Výsledné celkové náklady poté jsou:

$$N_{s1} = 0 \text{ Kč} / kus \quad (4.11)$$

$$N_{s2} = t_{s2} \cdot N_s = 10 \cdot 8 = 80 \text{ Kč} / kus \quad (4.12)$$

➤ Celkové náklady

Celkové náklady budou vypočteny vzhledem k nákladům na výrobu součásti a velikosti roční série.

$$N_{C1} = (N_{d1} + N_{o1} + N_{s1}) \cdot Q_r = (8,68 + 41,4 + 0) \cdot 2\,000 = 100\,160 \text{ Kč} \quad (4.13)$$

$$N_{C2} = (N_{d2} + N_{o2} + N_{s2}) \cdot Q_r = (13,15 + 36 + 80) \cdot 2\,000 = 258\,300 \text{ Kč} \quad (4.14)$$

kde: N_{C1} – celkové náklady na zvolenou variantu řešení [Kč]

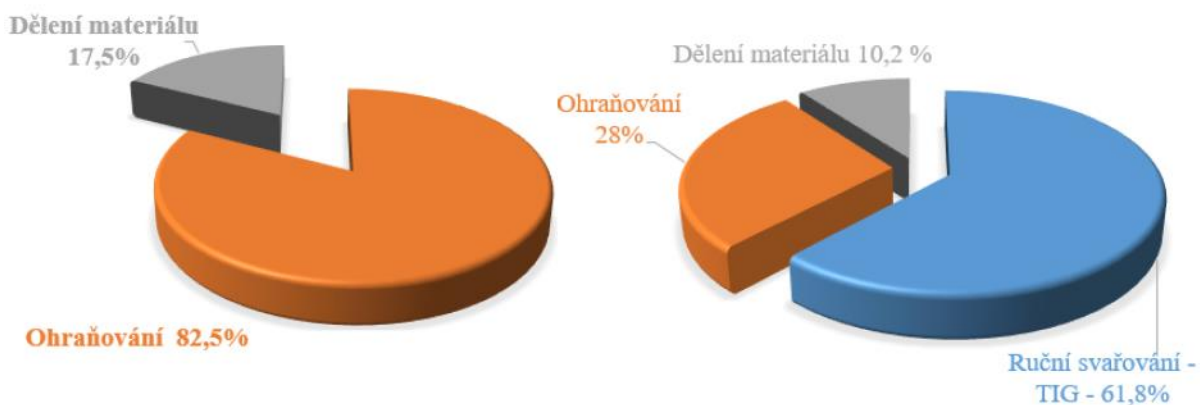
N_{C2} – celkové náklady na staré řešení [Kč]

Q_r – roční série výroby součástek [ks]

Z vypočtených hodnot je viditelné, že stará varianta řešení je nákladnější na výrobu. Celkovou úsporu „U“ zjistíme následujícím výpočtem:

$$U = N_{C2} - N_{C1} = 100\,160 - 258\,300 = 158\,140 \text{ Kč} \quad (4.15)$$

Z výsledné hodnoty je zřejmé, že zvolená metoda výroby součástky je výhodnější než stará varianta řešení. Ovšem pokud zákazník bude požadovat žlab vyšší než 230 mm, je nutné ho vyrobit starým způsobem.



Obr. 48 Výrobní náklady zvoleným řešením (vlevo) a předcházejícím (vpravo).

5 ZÁVĚRY

Řešená součástka je část liniového odvodňovacího systému – krabicový žlab. Tvoří hlavní díl celé sestavy, na který se dále přivařují příruby a stavitelné nohy. Součást je vyrobena z korozivzdorné austenitické oceli 17 240 o tloušťce 1,5 mm. Velikost roční výrobní série je stanovena na 2 000 ks.

Při volbě vhodné technologie výroby byl brán ohled zejména na nízké náklady a na přesnost ohybu. Z technologií byly vybrány ty, které společnost ACO Industries k.s. má k dispozici. Po zohlednění výrobní série a rychlosti výroby byla jako nejvýhodnější vybrána technologie ohraňování.

Na základě výkresové dokumentace byl pomocí programu Autodesk Inventor 2016 vytvořen 3D model součásti. Dle tohoto modelu byl vytvořen ohybový plán o 13 operacích. Po zohlednění předepsaných technologických podmínek a výpočtů byly vybrány vhodné tvářecí nástroje, které lze použít na všechny ohyby. Tyto nástroje byly vybrány s ohledem na stávající strojní vybavení společnosti. Na základě volby nástrojů byla vypočtena maximální výška žlabu na 230 mm a minimální na 41 mm. Následně byl pro výšku 230 mm stanoven rozvinutý tvar součástky o rozměrech 838 x 496 mm.

Z technologických výpočtů byla zjištěna potřebná síla na vytvoření jednotlivých ohybů, která má hodnotu 127,5 kN. Pro výrobu byl zvolen hydraulický CNC lis o jmenovité síle 1 300 kN, který je dle svých parametrů pro řešenou součást vyhovující.

V technicko-ekonomické části práce bylo provedeno zhodnocení výroby součásti, kde bylo zjištěno, že součást je zhotovitelná. V ekonomické části byly provedeny výpočty výrobních nákladů součásti pro zvolenou a předchozí variantu. Poté bylo provedeno porovnání obou metod, kde byla zjištěna úspora finančních nákladů na výrobu v hodnotě 158 140 Kč za rok, vzhledem k předchozímu řešení.

Na závěr lze říci, že při dodržení navrhovaných technologií a postupů je součástka výrobitelná.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [4]

1. ACO Industries k.s. [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.aco-industries.cz/home/>
2. ACO Krabicový žlab. In: ACO Industries k.s. [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.aco.cz/35-nerezove-zlaby.html>
3. Atest tažné oceli 1.4301. Isbergues, Francie.
4. Citace PRO [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/>
5. CNC ohraňování plechů [online]. In: [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.ohtanovaniplech.cz/>
6. CNC press brakes. In: Cyklos Choltice [online]. Choltice [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.cyklos-technology.com/en/technologies/category/metal-plates-processing/product/cnc-press-brakes>
7. CNC press. In: Hawiag Laser AG [online]. Switzerland [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.hawiag.ch/abkanten-und-lasern-von-blech-aluminium-stahl/abkanten-mit-unseren-modernen-maschinen.html>
8. ČADA, CSC, prof. Ing. Radek. *TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ A SLÉVÁNÍ – TEORETICKÝ ZÁKLAD* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2017-05-17]. ISBN 978-80-248-3015-5. Dostupné z: [http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_004/Technologie tváření a slévání - Teoretický základ/02 Text pro e-learning/publikovat/kapitoly/8.OHÝBÁNÍ.pdf](http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_004/Technologie%20tv%C3%A1r%C4%9Bn%C3%AD%20a%20sl%C4%9Bv%C3%A1n%C3%AD%20-%20Teoretick%C3%BD%20z%C3%A1klad/02%20Text%20pro%20e-learning/publikovat/kapitoly/8.OH%C3%BDB%C3%A1n%C3%AD.pdf)
9. ČSN 41 7240: Korozivzdorná austenitická Ocel 17 240 Cr-Ni. 2015.
10. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.
11. *Dynamické bombírování* [online]. Bystronic Czech Republic [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: https://www.bystronic.cz/cs/produkty/ohranovaci_lisy/
12. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
13. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 3rd ed. New York, NY: Cambridge University Press, 2007. ISBN 978-0-521-88121-0.
14. *Interní dokumenty*. Příbyslav: ACO Industries, 2016.
15. LENFELD, Petr. *Technologie II*. 1. Liberec: Technická univerzita v liberci, 2005. ISBN 8073720205.
16. Liniové odvodňovací systémy. In: *Odvodnění ploch* [online]. HYDROcontrol [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.odvodneniploch.cz/nerezove-odvodnovaci-zlaby>

17. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
18. Ohraňovací lis iBend. *WSC -stroje - naradie - gastro* [online]. Rosina [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://stroje-naradie.sk/firmy/stroje/258/?zobrazenie-&idfirmy=258&zapisat=nie&nazov1=4768&nazov2=13110&prezentaciaklienta>
19. *Ohraňování plechu* [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.ohranovaniplechu.cz/>
20. *Ohýbací přípravek do tvaru „V“* [online]. In: [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm
21. *Prezentace firmy ACO*. Přibyslav, 2016.
22. Processing types. In: *CNC FEINMECHANIK BERLIN* [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.cnc-berlin.de/blechbearbeitung/>
23. Ruční ohýbačka plechu. In: *První Hanácká BOW spol. s r.o.* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.bow.cz/produkt/3772610-mobilni-ohybacka-plechu-hsbm-610-hs/>
24. Rychloupínací systémy nástrojů. *Canmet s.r.o.* [online]. Brno [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.canmet.eu/clanky/detail/bezkonkurencni-rychloupinaci-systemy-hornich-nastroju.htm#zalozka-1>
25. SAMEK, Radko, Eva ŠMEHLÍKOVÁ a Zdeněk LIDMINLA. *Speciální technologie tváření*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-214-4406-52.
26. Strojírenství. *Manuál k úspěchu* [online]. KYJOV [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.manualkuspechu.cz/index.php/strojirenstvi>
27. Strojírenství. *Wikipedie* [online]. 2016 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Strojírenství>
28. Technologie plošného tváření – ohýbání. *Technologie II* [online]. Liberec [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm
29. *Tool catalog* [online]. In: Trumpf, 2004, s. 241 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.pantronic.no/wp-content/uploads/2015/03/TRUMPF-Kantpresseverkt--y.pdf>
30. *Trumpf* [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/
31. Upínání rolleri. *ROLLERI profesionální ohraňování* [online]. Slaný [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.rolleri.it/mod/Domů-IT.htm?id=4014>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
1a	oblast pružné deformace	[mm ²]
1b	oblast pružné deformace	[mm ²]
2a	oblast plastické deformace	[mm ²]
2b	oblast plastické deformace	[mm ²]
A	tažnost	%
a	minimální vzdálenost od osy ohybu k začátku otvoru	[mm]
A _{oi}	ohraňovací práce jednotlivých ohybů	[J]
A _{ov}	ohraňovací práce pro ohyb v	[J]
b	šířka průřezu materiálu	[mm]
c ₁	materiálový součinitel	[-]
d _r	délka rozvinu žlabu	[mm]
E	modul pružnosti	[MPa]
F _o	ohybová síla	[N]
F _{oh}	ohraňovací síla pro jeden metr	[N]
F _{ohi}	ohraňovací síla pro jednotlivé ohyby	[N]
F _{ov}	ohraňovací síla pro ohyb v	[N]
H	minimální délka ramene od místa ohybu	[mm]
H _c	celková výška žlabu	[mm]
H _{cmax}	celková maximální výška žlabu	[mm]
H _d	výška dna žlabu	[mm]
h _r	dráha razníku	[mm]
H _z	výška rovné části žlabu	[mm]
k	součinitel určující plochu neutrální osy	[-]
l ₁	délka krajního stlačeného vlákna	[mm]
l ₂	délka krajního prodlouženého vlákna	[mm]
L _c	délka rozvinutého tvaru	[mm]
l _i	délky rovinných úseků	[mm]
L _i	délka rovných částí na celém žlabu	[mm]
l _j	délky ohnutých úseků	[mm]
L _j	délka ohnutých částí na celém žlabu	[mm]
l _o	délka ohnutého úseku v neutrální ploše	[mm]
M _o	ohybový moment	[Nm]
m _v	koeficient zaplnění pracovního diagramu matrice	[-]
N _{c1}	celkové výrobní náklady zvolené metody	[Kč]
N _{c2}	celkové výrobní náklady staré varianty	[Kč]
N _{d1}	náklady na dělení materiálu zvolené metody	[Kč/kus]
N _{d2}	náklady na dělení materiálu staré varianty	[Kč/kus]
N _l	náklady na provoz laseru co2	[Kč/min]
N _o	náklady na provoz ohraňovacího lisu	[Kč/min]
N _{o1}	náklady na ohraňování zvolené metody	[Kč/kus]
N _{o2}	náklady na ohraňování staré varianty	[Kč/kus]
N _s	náklady na ruční svařování metodou tig	[Kč/min]
N _{s1}	náklady na svařování zvolené metody	[Kč/kus]
N _{s2}	náklady na svařování staré varianty	[Kč/kus]
O ₁	obvod zvolené varianty výroby	[mm]
O ₂	obvod staré varianty výroby	[mm]
Q _r	roční výrobní série	[ks/rok]

Označení	Legenda	Jednotka
R_1	poloměr ohybu krajního stlačeného vlákna	[mm]
R_1	poloměr ohybu krajního prodlouženého vlákna	[mm]
R_{1max}	maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{1min}	minimální poloměr ohybu	[mm]
R_2	poloměr ohybu na vnější straně	[mm]
R_e	mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti	[MPa]
R_o	poloměr ohybu	[mm]
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu	[MPa]
s	tloušťka materiálu	[mm]
\bar{s}_r	šířka rozvinu žlabu	[mm]
t_{c1}	celkový čas řezu obvodu zvolené varianty	[s]
t_{c2}	celkový čas řezu obvodu staré varianty	[s]
t_{o1}	čas řezu obvodu zvolené varianty	[s]
t_{o2}	čas řezu obvodu staré varianty	[s]
t_{oh1}	výrobní čas ohraňování zvolené metody	[min]
t_{oh2}	výrobní čas ohraňování starého řešení	[min]
t_{s2}	výsledný čas svařování při starém řešení výroby	[min]
U	celková úspora zvolené metody	[Kč]
V_1	rychlost řezání laseru	[m/min]
w	vzdálenost rozevření matrice	[mm]
x	součinitel posunutí neutrální plochy	[-]
x_1	maximální možná vzdálenost ramene při ohybu č. 12	[mm]
x_d	výška dna bez materiálu	[mm]
x_p	pomocná délka při výpočtu maximální výšky žlabu	[mm]
z_r	součinitel rozšíření průřezu	[-]
z_z	součinitel ztenčení průřezu	[-]
α	úhel ohybu	[°]
α_1	úhel před odpružením	[°]
α_2	úhel po odpružení	[°]
β	úhel odpružení	[°]
γ	úhel ohnutého úseku ($\gamma = 180 - \alpha$)	[°]
ε_1	deformace v ose x	[-]
ε_{1max}	maximální poměrné přetvoření	[-]
ε_{1min}	minimální poměrné přetvoření	[-]
ε_2	deformace v ose y	[-]
ε_3	deformace v ose z	[-]
ρ	poloměr neutrální plochy	[mm]
ρ_n	poloměr ohybu neutrální vrstvy	[mm]
σ_1	napětí v ose x	[Mpa]
σ_2	napětí v ose y	[Mpa]
σ_3	napětí v ose z	[Mpa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady součástí vyrobených technologií ohraňování [1], [5], [6], [17]	9
Obr. 2 Základní rozměry součástky [10]	10
Obr. 3 Rozbor liového odvodňovacího systému [10], [11]	10
Obr. 4 Ruční ohýbací stroj [18]	11
Obr. 5 Schéma ohábadla [15]	11
Obr. 6 Ohraňování [5]	12
Obr. 7 Schéma ohýbání [27]	13
Obr. 8 Schéma deformace průřezu [27]	14
Obr. 9 Stanovení délky výchozího polotovaru [26]	15
Obr. 10 Deformační schéma ohybu [27]	16
Obr. 11 Schéma odpružení pro ohyb [27]	17
Obr. 12 Ohyb tvaru „V” [27]	17
Obr. 13 Průběh ohybové síly [27]	18
Obr. 14 Ohraňovací nástroje [5]	19
Obr. 15 Razník [23]	19
Obr. 16 Matrice [23]	19
Obr. 17 Upínání nástroje otevřené (vlevo) a uzavřené (vpravo) [29]	20
Obr. 18 Upnutí pomocí svorek [29]	20
Obr. 19 Schéma hydraulického CNC lisu [20]	20
Obr. 20 Elektrický pohon lisu [13]	21
Obr. 21 Pružná deformace beranu [9]	21
Obr. 22 Ovládací panel [7]	21
Obr. 23 Směr pohybů dorazů [13]	22
Obr. 24 Minimální délka ramene od místa ohybu [25]	22
Obr. 25 Minimální vzdálenost osy ohybu k otvoru [25]	22
Obr. 26 Model tvářeného žlabu [10]	23
Obr. 27 Ohybový plán tvářené součástky [10]	23
Obr. 28 Matrice EV/S W8/84° [28]	24
Obr. 29 Razník OW200/K [28]	24
Obr. 30 Základní rozměry žlabu	25
Obr. 31 Schéma ohybu č. 11 (12)	25
Obr. 32 Model ohybu č. 12	26
Obr. 33 Schéma ohybu č. 12	26
Obr. 34 Označení úseků na součásti [10]	27
Obr. 35 Rozvin součástky [10]	28
Obr. 36 Pohled před ohybem č. 1	29
Obr. 37 Pohled před ohybem č. 2	29
Obr. 38 Pohled před ohybem č. 3	29
Obr. 39 Pohled před ohybem č. 4	29
Obr. 40 Pohled před ohybem č. 5	30
Obr. 41 Pohled po ohybu č. 5	30
Obr. 42 Pohled před ohybem č. 11	30
Obr. 43 Pohled před ohybem č. 12	31
Obr. 44 Pohled před ohybem č. 13	31
Obr. 45 Vyrobená součást [10]	31
Obr. 46 Hydraulický CNC lis TruBend 5130 [29]	33
Obr. 47 Zvolený obvod (vlevo) a obvod starého řešení (vpravo)	35
Obr. 48 Výrobní náklady zvoleným řešením (vlevo) a předcházejícím (vpravo).	36

SEZNAM TABULEK



Tab. 1 Vlastnosti korozivzdorné oceli 17 240 [3]	11
Tab. 2 Součinitel rozšíření výchozího průřezu [23]	15
Tab. 3 Hodnoty součinitelů „ x'' “ a „ z_z'' “ v závislosti na poměru R_o/s [23]	15
Tab. 4 Součinitel „ c_1'' “ pro různé materiály [23]	16
Tab. 5 Hodnoty rovinných úseků [10]	28
Tab. 6 Vypočtené hodnoty pro ohyb	32
Tab. 7 Technické parametry stroje TruBend 5130 [30].....	33
Tab. 8 Změny výrobních technologií u zvolené a staré varianty řešení	34

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Atest materiálu 1.4031 [3]
Příloha 2	Materiálový list dle ČSN 41 7240 [8]
Příloha 3	Parametry matrice ES/V W8/84° [28]
Příloha 4	Parametry razníku OW200/K [28]
Příloha 5	Tabulka lisovacích hodnot [28]
Příloha 6	Parametry ohraňovacího lisu [29]

SEZNAM VÝKRESŮ

Krabicový žlab	BP-01-171180-01
----------------	-----------------

		MILL CERTIFICATE BS EN 10204/3.1 CERTIFICAT DE RECEPTION NF EN 10204/3.1 ABNAHMEPRÜFZEUGNIS DIN EN 10204/3.1		N-Nr-N 1210191816-01 V01																																																																					
Ageram - Stainless France Ageram Industrie 62330 Isbergues FRANCE		Ausgestellt im Einvernehmen mit dem TÜV SÜD - Auf Gegenseicherung wird verzichtet Issued in accordance with TÜV SÜD - Verification is not required Établi en accord avec le TÜV SÜD - Dispense de contresignature A.D.2000 Mecklen W0 - W2 - W10 - PSD 97/73 BC																																																																							
ISO 9001 V2008 - ISO TS 16949 V2009 - ISO 14001 V 2004																																																																									
Manufacturer's works order number N° de la commande usine productrice Werksauftragsnummer 80071877 /01-61202/1		Surveyor's mark Cachet de l'expert Stempel des Werknachsachverständigen 		Purchaser and/or consignee Client ou/ou destinataire Besteller und/oder Empfänger ITALINOX S.R.L. ZDEBRADSKA 58/59 251 01 RÍCANÝ JAZLOVCE REP. TCHÉQUE																																																																					
Product - Produit - Erzeugnis COLD-ROLLED COIL BODING LAMINÉ A FROID KALTGEWALZTES BAND		Customer article number Numéro client Artikelnummer des Kunden 0UP 68/2011																																																																							
Steel designation Désignation de l'acier Stahlbezeichnung EN 10088-7 / 08 - 1.4301 - 1.4301 ASTM A 340 / 10 - TYPE 304L - TYPE 304 ASME SA 340 / 10 - TYPE 304L - TYPE 304 EN 10088-2 / 05 - 1.4301 - 1.4301		Finish Présentation Aufbereitung 2B 2R 2B 2B		Steelmaking process Mode d'élaboration de l'acier - Stahlherstellungsverfahren Proc. process: Electric arc furnace - VOD/AOD - Continuous casting Proc. fabric.: Four à arc - VOD/AOD - Coudle continue Fertigungsablauf: Elektro-Ofen - VOD/AOD - Stranggussanlage Any supplementary requirements Prescriptions supplémentaires - Zusätzliche Anforderungen																																																																					
				Product delivery condition Etat de livraison du produit - Lieferzustand 1040-1100 C Solution treated Hypertempe : Lösungsgeglüht Forced Air Air forcé - Gebläse Luft																																																																					
Identification of the product Identification du produit - Identifizierung des Erzeugnisses MELTED IN BELGIUM, MADE IN FRANCE.		Dimensions Dimensions - Abmessungen Thickness Epaisseur - Dicke 1,500 mm		Number of pieces No de pièces - Stückzahl 1																																																																					
Coil n. N.Bobine - Band Nr. 63367		Heat n. N.Coulee - Schmelz Nr. 202087		Width Largeur - Breite 1500,00 mm																																																																					
				Length Longueur - Länge 1500,00 mm																																																																					
				Net weight Poids net - netto Gewicht 9980 KGS																																																																					
CHEMICAL ANALYSIS - ANALYSE CHIMIQUE - CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>C</th> <th>Si</th> <th>Mn</th> <th>Ni</th> <th>Cr</th> <th>Mo</th> <th>Ti</th> <th>N</th> <th>S</th> <th>P</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Required - Exigé - Minimal Anforderung - %maxi</td> <td>0,030</td> <td>0,75</td> <td>2,00</td> <td>8,00</td> <td>18,00</td> <td></td> <td></td> <td>0,100</td> <td>0,0150</td> <td>0,045</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cast Analysis Analyse coulé Analyse Schmelze</td> <td>0,120</td> <td>0,48</td> <td>1,44</td> <td>8,00</td> <td>18,12</td> <td></td> <td></td> <td>0,070</td> <td>0,0130</td> <td>0,030</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>C71</td> <td>C72</td> <td>C73</td> <td>C74</td> <td>C75</td> <td>C76</td> <td>C77</td> <td>C78</td> <td>C79</td> <td>C80</td> <td>C81</td> <td>C82</td> <td>C83</td> <td>C84</td> <td>C85</td> <td>C86</td> </tr> </tbody> </table>							C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Ti	N	S	P							Required - Exigé - Minimal Anforderung - %maxi	0,030	0,75	2,00	8,00	18,00			0,100	0,0150	0,045							Cast Analysis Analyse coulé Analyse Schmelze	0,120	0,48	1,44	8,00	18,12			0,070	0,0130	0,030								C71	C72	C73	C74	C75	C76	C77	C78	C79	C80	C81	C82	C83	C84	C85	C86
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Ti	N	S	P																																																															
Required - Exigé - Minimal Anforderung - %maxi	0,030	0,75	2,00	8,00	18,00			0,100	0,0150	0,045																																																															
Cast Analysis Analyse coulé Analyse Schmelze	0,120	0,48	1,44	8,00	18,12			0,070	0,0130	0,030																																																															
	C71	C72	C73	C74	C75	C76	C77	C78	C79	C80	C81	C82	C83	C84	C85	C86																																																									
Tests to verify batch and quality have been carried out : OK Tests de vérification de la conformité de la nuance fournie : OK Versuchsablaufprüfung wurde durchgeführt : OK																																																																									
MECHANICAL PROPERTIES - PROPRIETES MECANQUES - MECHANISCHE WERTE																																																																									
Room temperature - Température ambiante - Raumtemperatur Test temperature (°C) Direction (2) Required Exigé Anforderung min max 1 T 2 T Obtained Obtenu Ergebnis																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Yield or proof strength Limite d'élasticité Dehngrenze MPa</th> <th>Tensile strength Résistance à la traction Zugfestigkeit MPa</th> <th>Elongation after fracture Allongement après rupt. Bruchdehnung %</th> <th>Hardness Dureté Hare</th> <th>Yield or proof strength Limite d'élasticité Dehngrenze MPa</th> <th>Tensile str. Résist. MPa Zugfestigkeit Bruchdehnung</th> <th>Elongation % Allongement Bruchdehnung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rp0.2%</td> <td>Rp1%</td> <td>Rm</td> <td>HRB</td> <td>HRB</td> <td>HRB</td> <td>HRB</td> </tr> <tr> <td>230</td> <td>260</td> <td>540</td> <td>92</td> <td>230</td> <td>260</td> <td>540</td> </tr> <tr> <td>295</td> <td>336</td> <td>640</td> <td>81</td> <td>295</td> <td>336</td> <td>640</td> </tr> <tr> <td>C11</td> <td>C14</td> <td>C12</td> <td>C19</td> <td>C15</td> <td>C21</td> <td>C18</td> </tr> </tbody> </table>						Yield or proof strength Limite d'élasticité Dehngrenze MPa	Tensile strength Résistance à la traction Zugfestigkeit MPa	Elongation after fracture Allongement après rupt. Bruchdehnung %	Hardness Dureté Hare	Yield or proof strength Limite d'élasticité Dehngrenze MPa	Tensile str. Résist. MPa Zugfestigkeit Bruchdehnung	Elongation % Allongement Bruchdehnung	Rp0.2%	Rp1%	Rm	HRB	HRB	HRB	HRB	230	260	540	92	230	260	540	295	336	640	81	295	336	640	C11	C14	C12	C19	C15	C21	C18																																	
Yield or proof strength Limite d'élasticité Dehngrenze MPa	Tensile strength Résistance à la traction Zugfestigkeit MPa	Elongation after fracture Allongement après rupt. Bruchdehnung %	Hardness Dureté Hare	Yield or proof strength Limite d'élasticité Dehngrenze MPa	Tensile str. Résist. MPa Zugfestigkeit Bruchdehnung	Elongation % Allongement Bruchdehnung																																																																			
Rp0.2%	Rp1%	Rm	HRB	HRB	HRB	HRB																																																																			
230	260	540	92	230	260	540																																																																			
295	336	640	81	295	336	640																																																																			
C11	C14	C12	C19	C15	C21	C18																																																																			
Impact strength test Essai de résilience Kerbschlagzähigkeitstest C40 HVI C44 C42 C43 C45 C46 C47 C48 C49 C50 C51 C52 C53 C54 C55 C56 C57																																																																									
Location of the sample (1) Emplacement de l'échantillon Lage des Probenabschnittes 1. Front - Début - Anfang 2. Back - Fin - Ende 3. Middle - Milieu - Mitte																																																																									
The delivery is in accordance with the order La fourniture est conforme aux exigences de la commande Die Lieferung entspricht den Bestellbedingungen Packing list Avis d'expédition Lieferscheinnummer 120207101007-15255																																																																									
Organisation inspection Organisme ou/ou service contrôle Überwachungsanstalt Service Métallurgique 07/02/2012 M. THOMAS The inspector Le responsable Der Werknachsachverständige																																																																									

ČSN 41 7240

Korozivzdorná austenická ocel

OCEL

17 240

Chemické složení [hm. %]

C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
max 0,07	max 2,0	max 1,0	17,0–20,0	9,0–11,5	max 0,045	max 0,030

Polotovary

[1] tyče	[3] trubky bezešvé
[2] plechy	[4] tlusté plechy

Mechanické vlastnosti

Polotovaz	[1]			[2]				
Rozměr t, d [mm]	< 60	60–100	100–150	< 10	10–30			
Stav	.4			.4				
Mez kluzu R _p 0,2 [MPa] min	186			186				
Mez pevnosti R _m [MPa]	490–686			490–686				
Tažnost A ₅ [%] min	50	45	40	37	34			
Vrubová houževnatost KCU 3 [J.cm ⁻²] min	podél 196	podél 137 napříč 98	podél 98 napříč 68	–	podél 137 napříč 98			
Polotovaz	[3]			[4]				
Rozměr t, d [mm]	do 89			30–80				
Stav	.4			.4				
Mez kluzu R _p 0,2 [MPa]	186			181				
Mez pevnosti R _m [MPa]	490–735			481–672				
Tažnost A ₅ [%]	40			37				
Vrubová houževnatost KCU 3 [J.cm ⁻²] min	–			podél 132 napříč 98				
Modul pružnosti E [GPa]	20 °C	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C	
za zvýšených teplot	199	194	186	179	172	164	–	
Nejnižší mez kluzu R _p 0,2 [MPa]	20 °C	50 °C	100 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	400 °C
za zvýšených teplot	186	177	157	142	127	118	109	98

Fyzikální vlastnosti

Hustota ρ [kg . m ⁻³] . 10 ³ při 20 °C	Měrná tepelná kapacita c _p [J.kg ⁻¹ . K ⁻¹]	Tepelná vodivost λ _t [W.m ⁻¹ . K ⁻¹]	Rezistivita ρ [Ω.m]		
7,9	500	14,7	730.10 ⁻⁶		
Tepelní součinitel roztažnosti α [K ⁻¹] . 10 ⁻⁶	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C
	16	17	17	18	18

Odolnost proti degradačním procesům								
ODOLNOST PROTI KOROZI								
odolnost proti plošné korozi – odolává kyselině dusičné, slabým roztokům organických kyselin; odolnost proti korozi lze zvýšit leštěním; tvářením zastudena se korozivzdornost mírně snižuje								
odolnost proti mezikystalové korozi – ve srovnání s ocelí 17 241 odolává lépe; při aplikaci svaru v silném korozním prostředí, nutno přezíhat celou součást s následujícím ochlazením na vzduchu								
ODOLNOST PROTI ŽÁRU								
na vzduchu					do 850°C			
v oxidačním sirném prostředí (obsahujícím SO ₂)					do 750°C			
v redukčním sirném prostředí (obsahujícím H ₂ S)					do 600°C			
v páře					do 750°C			
ve směsných plynech					do 550°C			
ODOLNOST PROTI TEČENÍ								
Mez pevnosti při tečení v tahu [MPa] (střední hodnoty)								
Teplota [°C]	560	580	600	620	640	660	680	700
R _{mT} /10 ⁴	163,8	142,2	121,6	104	87,3	72,6	60,8	48,1
R _{mT} /3.10 ⁴	135,3	114,7	96,1	80,4	66,7	54,9	44,1	(35,3)
R _{mT} / 5.10 ⁴	122,6	103,0	85,3	71,6	57,9	47,1	(36,3)	(27,5)
R _{mT} /10 ⁵	104,9	89,2	73,5	60,8	50,0	(40,2)	(30,4)	(22,6)
Technologické údaje								
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ								
rozpuštěcí žhání	1 020–1 080 °C				ochlazovat podle tloušťky na vzduchu nebo ve vodě			
žhání ke snížení pnutí	850–950°C				ochlazovat na vzduchu			
TVARITELNOST								
teploty tváření	1 150–850 °C				ochlazovat na vzduchu			
SVAŘITELNOST								
zaručená	doporučené přídavné materiály – elektroda VÚS-A3F							
OBROBITELNOST			soustružení, hoblování			frézování, vrtání		
[1] [2]	.4		9b				9b	
TECHNOLOGICKÉ ZKOUŠKY								
zkouška hloubením podle Erichsena na 1 mm plechu 13								
Použití								
Austenitická, svařitelná, nestabilizovaná, korozivzdorná ocel vhodná pro chemické zařízení včetně tlakových nádob. Vhodná pro prostředí oxidační povahy pro silné anorganické kyseliny jen při velmi nízkých koncentracích a v oblasti normálních teplot. Lze ji použít též pro prostředí vyžadující vysokou čistotu produktu (farmaceutický a potravinářský průmysl).								
Ostatní vlastnosti								
Druh oceli podle způsobu výroby			Barevné značení podle ČSN 42 0010			Třída odpadu podle ČSN 42 0030		
elektroocel			červená–černá–želená			026		

Porovnání se zahraničními materiály					
ISO		EURO		Německo	
Type 11	ISO 683/10-86	X5CrNi18-10	EN 10088/1-3,-95	X5CrNi18-10 X5CrNi18-10 X5CrNi18-10 X5CrNi18-10 X5CrNi18-10	DIN 17456-85 DIN 17440-85 DIN 17441-85 DIN 17458-85 DIN EN 10088 1-3-95
Francie		Velká Británie		Rusko	
Z6CNT18-09 X5CrNi18-10	NF A35-559-93 NF EN 10088/1-3-95	X5CrNi18-10 304S31 304S15	BS EN 10088/1-3-95 BS 1501/3-90 BS 1554-90	08Ch18N10	GOST 5632-72
USA		Japonsko		Kanada	
Type 304 Type 304F Type 304	ASTM A276-90 ASTM A182 ASTM A167	SUS304 SUSF304 SUS 304TKA	JIS G3448-88 JIS G3214-91 JIS G3446-91	—	—
Itálie		Rakousko		Švédsko	
X5CrNi 18-10 X5CrNi18-10 X5CrNi18-10KT X5CrNi18-10KG X5CrNi18-10 KW	UNI 6904-71 UNI EN 10088/1-3-95 UNI 7660-77 UNI 7660-77 UNI 7660-77	X5CrNi1810S X5CrNi1810KKW	ÖNORM M3210-86 ÖNORM M3121-91	2333-02 2332	SS142333 SS142332
Polsko		Maďarsko		Norsko	
08H18N9	PN H86020-71	K033	MSZ 4360-87	14350 14355 14360	NS 14350 NS 14355 NS 14360
Finsko		Švýcarsko		Španělsko	
X4CrNi189 X4CrNi189	SFS 725 SFS 725	—	—	X5CrNi1810 X5CrNi1810	UNE 36-087-89 UNE EN 10088/1-3-95
Austrálie		Čína		Rumunsko	
304 304	AS 1449-94 AS 2837-86	0Cr18Ni9	GB 4239-91	5NiCr180	STAS 3583-87
Bulharsko		Brazílie		—	
08Ch18N10	BDS 6738-72	E 304 V-304	Br. 400 Br. 800	—	

TRUMPF

Die

350 kN/m

42 Cr Mo 4

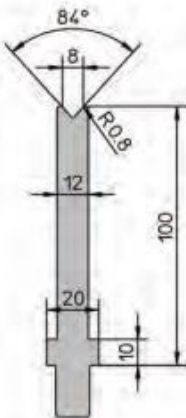
1080 - 1180 N/mm²

10,9 kg/m

~60 HRC

5,7 mm

6,6mm (s=1,5mm)



EV/S W8/84°

Die width: 8 mm

Angle: 84°

Height: 100 mm

Mat. No.

Price

Var. B

4050 1206548 - EUR

3050 0860807 - EUR

2550 0861294 - EUR

2050 0865349 - EUR

1250 0864725 - EUR

1050 1601276 - EUR

Var. A

2050 1206545 - EUR

1250 0862969 - EUR

1050 1601275 - EUR

550 1601274 - EUR

Block 250

250 0858817 - EUR

Single

500 0858816 - EUR

300 0858815 - EUR

200 0858814 - EUR

100 0858807 - EUR

50 0858813 - EUR

45 0858812 - EUR

40 0858811 - EUR

35 0858810 - EUR

30 0858809 - EUR

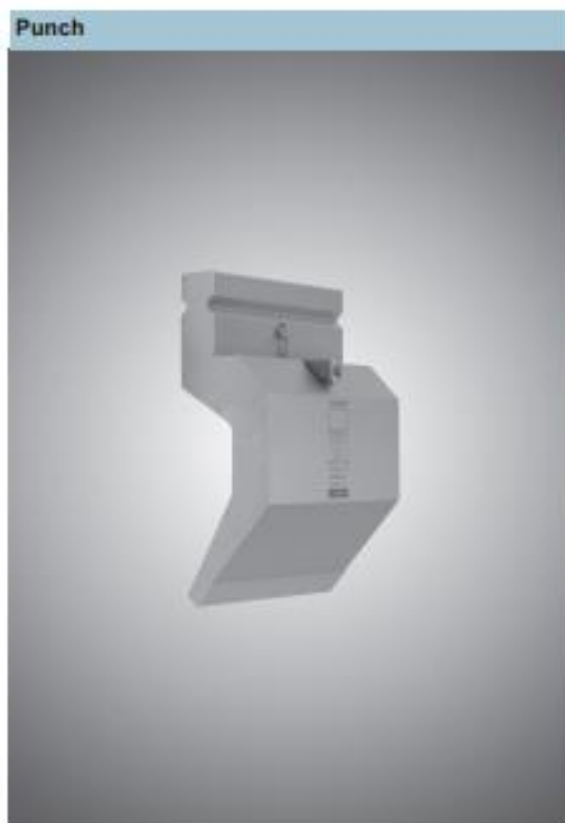
25 0858808 - EUR

20 0858821 - EUR

15 0858820 - EUR

10 0858819 - EUR

Lengths in [mm]

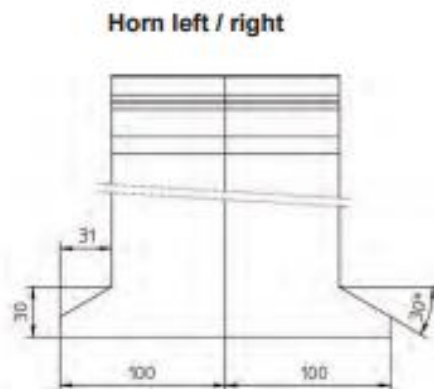


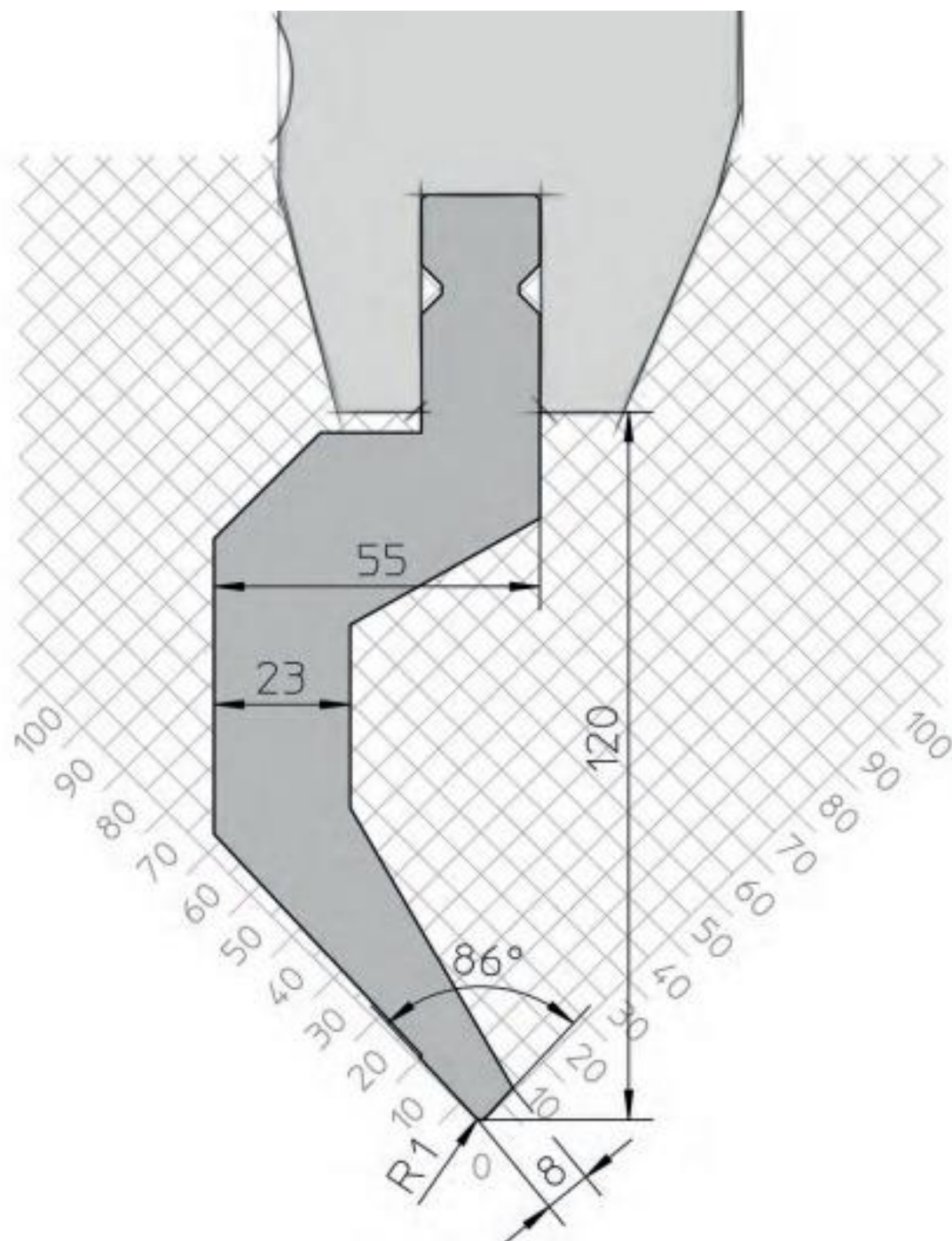
Delivery time: ex warehouse		
OW200/K	Radius:	R1,0 mm
	Angle:	86°
	Height:	120 mm
	Mat. No.	Price
Var. B		
4050	0823788	- EUR
3050	0823787	- EUR
2550	0835174	- EUR
2050	0823786	- EUR
1250	0825696	- EUR
1050	0857258	- EUR
Var. A		
2050	0823783	- EUR
1250	0825695	- EUR
1050	1576196	- EUR
550	1601819	- EUR
Block 250		
250	0825692	- EUR
Single		
500	0823781	- EUR
300	0823780	- EUR
200	0823779	- EUR
100	0824474	- EUR
Horn left 100	0824472	- EUR
Horn right 100	0824473	- EUR
50	0824471	- EUR
45	0824470	- EUR
40	0824469	- EUR
35	0824468	- EUR
30	0824467	- EUR
25	0824466	- EUR
20	0838231	- EUR
15	0838230	- EUR
10	0838229	- EUR

Lengths in [mm]

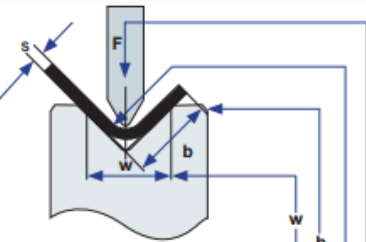
Technical data

	800 kN/m
	42 Cr Mo 4 1080 - 1180 N/mm ²
	29,3 kg/m
	-60 HRC
	64 mm
	10 mm - 300 mm





Press force required for 90° air bending



Material: 450 N/mm², STEEL

	4	5	6	8	10	12	16	20	24	30	40	50	60	70	80	90	100	120	150
s	3	3,75	4,5	6	7,5	9	12	15	18	22,5	30	37,5	45	52,5	60	67,5	75	90	112,5
	0,7	0,8	0,9	1,4	1,7	1,9	2,6	3,2	3,9	4	5,1	6,3	7,7	9,1	10,1	12	12,9	15,7	15,5
0,5	45	35	28	21															
0,75	102	78	64	46	36	30													
1		167	131	91	70	57	41												
1,25			204	142	109	88	64	50											
1,5			294	204	157	127	92	72											
1,75				278	213	173	126	99	81										
2					279	226	164	129	106										
2,5						353	256	201	166	131									
3							369	290	238	188	140								
3,5							503	394	325	256	190	151							
4								515	424	335	248	197	163						
4,5								652	537	424	314	249	207	177					
5										523	388	308	255	218	190				
6										754	558	443	368	314	274	243			
7											760	604	501	428	373	331	297		
8												864	705	595	515	454	406	335	
10														930	805	710	634	523	415
12																1159	1022	914	754
15																		1597	1427

F/m

Material: 700 N/mm², STAINLESS STEEL

	4	5	6	8	10	12	16	20	24	30	40	50	60	70	80	90	100	120	150
s	3	3,75	4,5	6	7,5	9	12	15	18	22,5	30	37,5	45	52,5	60	67,5	75	90	112,5
	0,8	1	0,8	2	1,9	2,3	3,5	3,9	5,3	5,4	7,9	8,5	10,4	12,1	13,8	15,5	17,9	20,7	24
0,5	71	54	44	32															
0,75	159	122	99	72	56	46													
1		260	203	141	108	88	64												
1,25			317	221	169	137	100	78											
1,5			457	318	244	198	144	113											
1,75				433	332	269	195	153	126										
2					434	352	255	200	165										
2,5						550	399	313	258	204									
3							574	451	371	293	217								
3,5							782	614	505	399	296	235							
4								801	660	521	386	307	254						
4,5								1014	835	660	489	388	322	275					
5										814	603	479	397	339	296				
6										1172	869	690	572	489	426	378			
7											1182	939	779	665	580	515	463		
8												1344	1096	926	801	706	632	521	
10														1447	1252	1104	987	814	
12																1803	1590	1421	1172
15																		2484	2220

F in kN

S, w, b, Ri in mm

= optimal die width



TruBend série 5000

ohraňovací lisy

Technická data

	TruBend 5085	TruBend 5130	TruBend 5170
LISOVACÍ SÍLA	850 kN	1300 kN	1700 kN
OHRAŇOVACÍ DÉLKA	2210 mm	3230 mm	3230 mm
OHRAŇOVACÍ DÉLKA PRO ZVĚTŠENÉ PROVEDENÍ (VOLITELNÉ VYBAVENÍ)	2720 mm	-	4250 mm
VOLNÝ PRŮCHOD STOJANU	1750 mm	2690 mm	2690 mm
UŽITEČNÁ MONTÁŽNÍ VÝŠKA	385 mm	385 mm	615 mm
UŽITEČNÁ MONTÁŽNÍ VÝŠKA PRO ZVĚTŠENÉ PROVEDENÍ (VOLITELNÉ VYBAVENÍ)	615 mm	615 mm	-
VYLOŽENÍ	420 mm	420 mm	420 mm
OVLÁDACÍ PLOCHA	Touchpoint TruBend	Touchpoint TruBend	Touchpoint TruBend
MAX. PRACOVNÍ RYCHLOST	25 mm/s	25 mm/s	25 mm/s
ZVÝŠENÁ RYCHLOST	220 mm/s	220 mm/s	220 mm/s
ROZMĚRY			
DÉLKA	3020 mm	3980 mm	3980 mm
ŠÍŘKA	1800 mm	1800 mm	1900 mm
VÝŠKA	2375 mm	2375 mm	3000 mm